

地下水水文学

Groundwater Hydrology

讲授：肖长来

吉林大学环境与资源学院
水文水资源系
2004年9月



第12章 岩溶水

提要

要求掌握岩溶发育的基本规律及影响因素、岩溶水的特征；

了解岩溶水系统的演变特征，我国南方与北方岩溶及岩溶水的差异。



第12章 岩溶水

12.1 岩溶发育的基本条件与影响因素

12.1.1 岩溶发育条件

12.1.2 岩溶发育的影响因素

12.1.3 碳酸盐的成分与结构

12.1.4 碳酸盐岩、水、二氧化碳体系

12.2 岩溶水系统的演变

12.2.1 地下水流对介质的改造

12.2.2 地下水流动系统与岩溶发育的空间特征

12.3 岩溶水的特征

12.3.1 岩溶含水介质的特征

12.3.2 岩溶水的运动特征

12.3.3 岩溶水的补、径、排与动态特征

12.4 我国南北方岩溶及岩溶水的差异



12.0 岩溶水概述

岩溶 (karst) 是指岩溶作用和由此产生的各种现象，是指水对可溶岩石进行化学溶解，并伴随以冲蚀作用和重力崩塌，在地下形成大小不等的空洞，在地表造成各种独特的地貌现象以及特殊的水文现象，分为地表岩溶、地下岩溶。

岩溶水 亦称**喀斯特水 (karst water)** 指赋存并运移于岩溶化岩层中的水。岩溶水系统是一个能够通过水与介质相互作用不断自我演化的动力系统。

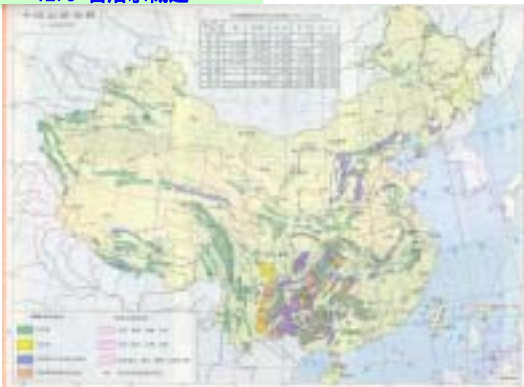
岩溶水系统，演化初期与裂隙水系统差异不大；演化后期，大范围内形成完整的地下暗河，空间分布极不均一，时间上变化强烈，流动迅速，排泄集中。

水量丰富的岩溶含水系统是理想的供水水源，岩溶区有奇峰异洞和大泉，易渗漏，危及采矿。可溶岩占全国1/3。



12.0 岩溶水概述

中国岩溶地貌



12.0 岩溶水概述

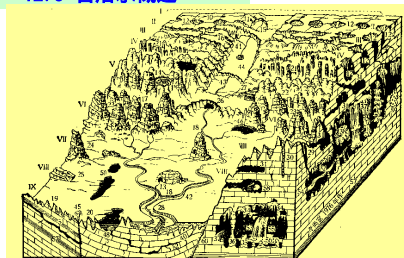


图 7.2 喀斯特地貌类型分布图 (肖长来, 1994)

区域喀斯特类型: I. 喀斯特平原; II. 峰丛平原; III. 峰丛平原; IV. 石钟乳区; V. 峰丛洼地; VI. 峰丛洼地; VII. 峰丛平原; VIII. 峰丛平原; IX. 峰丛平原。
喀斯特作用类型: 10. 溶蚀; 11. 溶蚀; 12. 溶蚀; 13. 溶蚀; 14. 溶蚀; 15. 溶蚀; 16. 溶蚀; 17. 溶蚀; 18. 溶蚀; 19. 溶蚀; 20. 溶蚀; 21. 溶蚀; 22. 溶蚀; 23. 溶蚀; 24. 溶蚀; 25. 溶蚀; 26. 溶蚀; 27. 溶蚀; 28. 溶蚀; 29. 溶蚀; 30. 溶蚀; 31. 溶蚀; 32. 溶蚀; 33. 溶蚀; 34. 溶蚀; 35. 溶蚀; 36. 溶蚀; 37. 溶蚀; 38. 溶蚀; 39. 溶蚀; 40. 溶蚀; 41. 溶蚀; 42. 溶蚀; 43. 溶蚀; 44. 溶蚀; 45. 溶蚀; 46. 溶蚀; 47. 溶蚀; 48. 溶蚀; 49. 溶蚀; 50. 溶蚀; 51. 溶蚀; 52. 溶蚀; 53. 溶蚀; 54. 溶蚀; 55. 溶蚀; 56. 溶蚀; 57. 溶蚀; 58. 溶蚀; 59. 溶蚀; 60. 溶蚀; 61. 溶蚀; 62. 溶蚀; 63. 溶蚀; 64. 溶蚀; 65. 溶蚀; 66. 溶蚀; 67. 溶蚀; 68. 溶蚀; 69. 溶蚀; 70. 溶蚀; 71. 溶蚀; 72. 溶蚀; 73. 溶蚀; 74. 溶蚀; 75. 溶蚀; 76. 溶蚀; 77. 溶蚀; 78. 溶蚀; 79. 溶蚀; 80. 溶蚀; 81. 溶蚀; 82. 溶蚀; 83. 溶蚀; 84. 溶蚀; 85. 溶蚀; 86. 溶蚀; 87. 溶蚀; 88. 溶蚀; 89. 溶蚀; 90. 溶蚀; 91. 溶蚀; 92. 溶蚀; 93. 溶蚀; 94. 溶蚀; 95. 溶蚀; 96. 溶蚀; 97. 溶蚀; 98. 溶蚀; 99. 溶蚀; 100. 溶蚀; 101. 溶蚀; 102. 溶蚀; 103. 溶蚀; 104. 溶蚀; 105. 溶蚀; 106. 溶蚀; 107. 溶蚀; 108. 溶蚀; 109. 溶蚀; 110. 溶蚀; 111. 溶蚀; 112. 溶蚀; 113. 溶蚀; 114. 溶蚀; 115. 溶蚀; 116. 溶蚀; 117. 溶蚀; 118. 溶蚀; 119. 溶蚀; 120. 溶蚀; 121. 溶蚀; 122. 溶蚀; 123. 溶蚀; 124. 溶蚀; 125. 溶蚀; 126. 溶蚀; 127. 溶蚀; 128. 溶蚀; 129. 溶蚀; 130. 溶蚀; 131. 溶蚀; 132. 溶蚀; 133. 溶蚀; 134. 溶蚀; 135. 溶蚀; 136. 溶蚀; 137. 溶蚀; 138. 溶蚀; 139. 溶蚀; 140. 溶蚀; 141. 溶蚀; 142. 溶蚀; 143. 溶蚀; 144. 溶蚀; 145. 溶蚀; 146. 溶蚀; 147. 溶蚀; 148. 溶蚀; 149. 溶蚀; 150. 溶蚀; 151. 溶蚀; 152. 溶蚀; 153. 溶蚀; 154. 溶蚀; 155. 溶蚀; 156. 溶蚀; 157. 溶蚀; 158. 溶蚀; 159. 溶蚀; 160. 溶蚀; 161. 溶蚀; 162. 溶蚀; 163. 溶蚀; 164. 溶蚀; 165. 溶蚀; 166. 溶蚀; 167. 溶蚀; 168. 溶蚀; 169. 溶蚀; 170. 溶蚀; 171. 溶蚀; 172. 溶蚀; 173. 溶蚀; 174. 溶蚀; 175. 溶蚀; 176. 溶蚀; 177. 溶蚀; 178. 溶蚀; 179. 溶蚀; 180. 溶蚀; 181. 溶蚀; 182. 溶蚀; 183. 溶蚀; 184. 溶蚀; 185. 溶蚀; 186. 溶蚀; 187. 溶蚀; 188. 溶蚀; 189. 溶蚀; 190. 溶蚀; 191. 溶蚀; 192. 溶蚀; 193. 溶蚀; 194. 溶蚀; 195. 溶蚀; 196. 溶蚀; 197. 溶蚀; 198. 溶蚀; 199. 溶蚀; 200. 溶蚀; 201. 溶蚀; 202. 溶蚀; 203. 溶蚀; 204. 溶蚀; 205. 溶蚀; 206. 溶蚀; 207. 溶蚀; 208. 溶蚀; 209. 溶蚀; 210. 溶蚀; 211. 溶蚀; 212. 溶蚀; 213. 溶蚀; 214. 溶蚀; 215. 溶蚀; 216. 溶蚀; 217. 溶蚀; 218. 溶蚀; 219. 溶蚀; 220. 溶蚀; 221. 溶蚀; 222. 溶蚀; 223. 溶蚀; 224. 溶蚀; 225. 溶蚀; 226. 溶蚀; 227. 溶蚀; 228. 溶蚀; 229. 溶蚀; 230. 溶蚀; 231. 溶蚀; 232. 溶蚀; 233. 溶蚀; 234. 溶蚀; 235. 溶蚀; 236. 溶蚀; 237. 溶蚀; 238. 溶蚀; 239. 溶蚀; 240. 溶蚀; 241. 溶蚀; 242. 溶蚀; 243. 溶蚀; 244. 溶蚀; 245. 溶蚀; 246. 溶蚀; 247. 溶蚀; 248. 溶蚀; 249. 溶蚀; 250. 溶蚀; 251. 溶蚀; 252. 溶蚀; 253. 溶蚀; 254. 溶蚀; 255. 溶蚀; 256. 溶蚀; 257. 溶蚀; 258. 溶蚀; 259. 溶蚀; 260. 溶蚀; 261. 溶蚀; 262. 溶蚀; 263. 溶蚀; 264. 溶蚀; 265. 溶蚀; 266. 溶蚀; 267. 溶蚀; 268. 溶蚀; 269. 溶蚀; 270. 溶蚀; 271. 溶蚀; 272. 溶蚀; 273. 溶蚀; 274. 溶蚀; 275. 溶蚀; 276. 溶蚀; 277. 溶蚀; 278. 溶蚀; 279. 溶蚀; 280. 溶蚀; 281. 溶蚀; 282. 溶蚀; 283. 溶蚀; 284. 溶蚀; 285. 溶蚀; 286. 溶蚀; 287. 溶蚀; 288. 溶蚀; 289. 溶蚀; 290. 溶蚀; 291. 溶蚀; 292. 溶蚀; 293. 溶蚀; 294. 溶蚀; 295. 溶蚀; 296. 溶蚀; 297. 溶蚀; 298. 溶蚀; 299. 溶蚀; 300. 溶蚀; 301. 溶蚀; 302. 溶蚀; 303. 溶蚀; 304. 溶蚀; 305. 溶蚀; 306. 溶蚀; 307. 溶蚀; 308. 溶蚀; 309. 溶蚀; 310. 溶蚀; 311. 溶蚀; 312. 溶蚀; 313. 溶蚀; 314. 溶蚀; 315. 溶蚀; 316. 溶蚀; 317. 溶蚀; 318. 溶蚀; 319. 溶蚀; 320. 溶蚀; 321. 溶蚀; 322. 溶蚀; 323. 溶蚀; 324. 溶蚀; 325. 溶蚀; 326. 溶蚀; 327. 溶蚀; 328. 溶蚀; 329. 溶蚀; 330. 溶蚀; 331. 溶蚀; 332. 溶蚀; 333. 溶蚀; 334. 溶蚀; 335. 溶蚀; 336. 溶蚀; 337. 溶蚀; 338. 溶蚀; 339. 溶蚀; 340. 溶蚀; 341. 溶蚀; 342. 溶蚀; 343. 溶蚀; 344. 溶蚀; 345. 溶蚀; 346. 溶蚀; 347. 溶蚀; 348. 溶蚀; 349. 溶蚀; 350. 溶蚀; 351. 溶蚀; 352. 溶蚀; 353. 溶蚀; 354. 溶蚀; 355. 溶蚀; 356. 溶蚀; 357. 溶蚀; 358. 溶蚀; 359. 溶蚀; 360. 溶蚀; 361. 溶蚀; 362. 溶蚀; 363. 溶蚀; 364. 溶蚀; 365. 溶蚀; 366. 溶蚀; 367. 溶蚀; 368. 溶蚀; 369. 溶蚀; 370. 溶蚀; 371. 溶蚀; 372. 溶蚀; 373. 溶蚀; 374. 溶蚀; 375. 溶蚀; 376. 溶蚀; 377. 溶蚀; 378. 溶蚀; 379. 溶蚀; 380. 溶蚀; 381. 溶蚀; 382. 溶蚀; 383. 溶蚀; 384. 溶蚀; 385. 溶蚀; 386. 溶蚀; 387. 溶蚀; 388. 溶蚀; 389. 溶蚀; 390. 溶蚀; 391. 溶蚀; 392. 溶蚀; 393. 溶蚀; 394. 溶蚀; 395. 溶蚀; 396. 溶蚀; 397. 溶蚀; 398. 溶蚀; 399. 溶蚀; 400. 溶蚀; 401. 溶蚀; 402. 溶蚀; 403. 溶蚀; 404. 溶蚀; 405. 溶蚀; 406. 溶蚀; 407. 溶蚀; 408. 溶蚀; 409. 溶蚀; 410. 溶蚀; 411. 溶蚀; 412. 溶蚀; 413. 溶蚀; 414. 溶蚀; 415. 溶蚀; 416. 溶蚀; 417. 溶蚀; 418. 溶蚀; 419. 溶蚀; 420. 溶蚀; 421. 溶蚀; 422. 溶蚀; 423. 溶蚀; 424. 溶蚀; 425. 溶蚀; 426. 溶蚀; 427. 溶蚀; 428. 溶蚀; 429. 溶蚀; 430. 溶蚀; 431. 溶蚀; 432. 溶蚀; 433. 溶蚀; 434. 溶蚀; 435. 溶蚀; 436. 溶蚀; 437. 溶蚀; 438. 溶蚀; 439. 溶蚀; 440. 溶蚀; 441. 溶蚀; 442. 溶蚀; 443. 溶蚀; 444. 溶蚀; 445. 溶蚀; 446. 溶蚀; 447. 溶蚀; 448. 溶蚀; 449. 溶蚀; 450. 溶蚀; 451. 溶蚀; 452. 溶蚀; 453. 溶蚀; 454. 溶蚀; 455. 溶蚀; 456. 溶蚀; 457. 溶蚀; 458. 溶蚀; 459. 溶蚀; 460. 溶蚀; 461. 溶蚀; 462. 溶蚀; 463. 溶蚀; 464. 溶蚀; 465. 溶蚀; 466. 溶蚀; 467. 溶蚀; 468. 溶蚀; 469. 溶蚀; 470. 溶蚀; 471. 溶蚀; 472. 溶蚀; 473. 溶蚀; 474. 溶蚀; 475. 溶蚀; 476. 溶蚀; 477. 溶蚀; 478. 溶蚀; 479. 溶蚀; 480. 溶蚀; 481. 溶蚀; 482. 溶蚀; 483. 溶蚀; 484. 溶蚀; 485. 溶蚀; 486. 溶蚀; 487. 溶蚀; 488. 溶蚀; 489. 溶蚀; 490. 溶蚀; 491. 溶蚀; 492. 溶蚀; 493. 溶蚀; 494. 溶蚀; 495. 溶蚀; 496. 溶蚀; 497. 溶蚀; 498. 溶蚀; 499. 溶蚀; 500. 溶蚀; 501. 溶蚀; 502. 溶蚀; 503. 溶蚀; 504. 溶蚀; 505. 溶蚀; 506. 溶蚀; 507. 溶蚀; 508. 溶蚀; 509. 溶蚀; 510. 溶蚀; 511. 溶蚀; 512. 溶蚀; 513. 溶蚀; 514. 溶蚀; 515. 溶蚀; 516. 溶蚀; 517. 溶蚀; 518. 溶蚀; 519. 溶蚀; 520. 溶蚀; 521. 溶蚀; 522. 溶蚀; 523. 溶蚀; 524. 溶蚀; 525. 溶蚀; 526. 溶蚀; 527. 溶蚀; 528. 溶蚀; 529. 溶蚀; 530. 溶蚀; 531. 溶蚀; 532. 溶蚀; 533. 溶蚀; 534. 溶蚀; 535. 溶蚀; 536. 溶蚀; 537. 溶蚀; 538. 溶蚀; 539. 溶蚀; 540. 溶蚀; 541. 溶蚀; 542. 溶蚀; 543. 溶蚀; 544. 溶蚀; 545. 溶蚀; 546. 溶蚀; 547. 溶蚀; 548. 溶蚀; 549. 溶蚀; 550. 溶蚀; 551. 溶蚀; 552. 溶蚀; 553. 溶蚀; 554. 溶蚀; 555. 溶蚀; 556. 溶蚀; 557. 溶蚀; 558. 溶蚀; 559. 溶蚀; 560. 溶蚀; 561. 溶蚀; 562. 溶蚀; 563. 溶蚀; 564. 溶蚀; 565. 溶蚀; 566. 溶蚀; 567. 溶蚀; 568. 溶蚀; 569. 溶蚀; 570. 溶蚀; 571. 溶蚀; 572. 溶蚀; 573. 溶蚀; 574. 溶蚀; 575. 溶蚀; 576. 溶蚀; 577. 溶蚀; 578. 溶蚀; 579. 溶蚀; 580. 溶蚀; 581. 溶蚀; 582. 溶蚀; 583. 溶蚀; 584. 溶蚀; 585. 溶蚀; 586. 溶蚀; 587. 溶蚀; 588. 溶蚀; 589. 溶蚀; 590. 溶蚀; 591. 溶蚀; 592. 溶蚀; 593. 溶蚀; 594. 溶蚀; 595. 溶蚀; 596. 溶蚀; 597. 溶蚀; 598. 溶蚀; 599. 溶蚀; 600. 溶蚀; 601. 溶蚀; 602. 溶蚀; 603. 溶蚀; 604. 溶蚀; 605. 溶蚀; 606. 溶蚀; 607. 溶蚀; 608. 溶蚀; 609. 溶蚀; 610. 溶蚀; 611. 溶蚀; 612. 溶蚀; 613. 溶蚀; 614. 溶蚀; 615. 溶蚀; 616. 溶蚀; 617. 溶蚀; 618. 溶蚀; 619. 溶蚀; 620. 溶蚀; 621. 溶蚀; 622. 溶蚀; 623. 溶蚀; 624. 溶蚀; 625. 溶蚀; 626. 溶蚀; 627. 溶蚀; 628. 溶蚀; 629. 溶蚀; 630. 溶蚀; 631. 溶蚀; 632. 溶蚀; 633. 溶蚀; 634. 溶蚀; 635. 溶蚀; 636. 溶蚀; 637. 溶蚀; 638. 溶蚀; 639. 溶蚀; 640. 溶蚀; 641. 溶蚀; 642. 溶蚀; 643. 溶蚀; 644. 溶蚀; 645. 溶蚀; 646. 溶蚀; 647. 溶蚀; 648. 溶蚀; 649. 溶蚀; 650. 溶蚀; 651. 溶蚀; 652. 溶蚀; 653. 溶蚀; 654. 溶蚀; 655. 溶蚀; 656. 溶蚀; 657. 溶蚀; 658. 溶蚀; 659. 溶蚀; 660. 溶蚀; 661. 溶蚀; 662. 溶蚀; 663. 溶蚀; 664. 溶蚀; 665. 溶蚀; 666. 溶蚀; 667. 溶蚀; 668. 溶蚀; 669. 溶蚀; 670. 溶蚀; 671. 溶蚀; 672. 溶蚀; 673. 溶蚀; 674. 溶蚀; 675. 溶蚀; 676. 溶蚀; 677. 溶蚀; 678. 溶蚀; 679. 溶蚀; 680. 溶蚀; 681. 溶蚀; 682. 溶蚀; 683. 溶蚀; 684. 溶蚀; 685. 溶蚀; 686. 溶蚀; 687. 溶蚀; 688. 溶蚀; 689. 溶蚀; 690. 溶蚀; 691. 溶蚀; 692. 溶蚀; 693. 溶蚀; 694. 溶蚀; 695. 溶蚀; 696. 溶蚀; 697. 溶蚀; 698. 溶蚀; 699. 溶蚀; 700. 溶蚀; 701. 溶蚀; 702. 溶蚀; 703. 溶蚀; 704. 溶蚀; 705. 溶蚀; 706. 溶蚀; 707. 溶蚀; 708. 溶蚀; 709. 溶蚀; 710. 溶蚀; 711. 溶蚀; 712. 溶蚀; 713. 溶蚀; 714. 溶蚀; 715. 溶蚀; 716. 溶蚀; 717. 溶蚀; 718. 溶蚀; 719. 溶蚀; 720. 溶蚀; 721. 溶蚀; 722. 溶蚀; 723. 溶蚀; 724. 溶蚀; 725. 溶蚀; 726. 溶蚀; 727. 溶蚀; 728. 溶蚀; 729. 溶蚀; 730. 溶蚀; 731. 溶蚀; 732. 溶蚀; 733. 溶蚀; 734. 溶蚀; 735. 溶蚀; 736. 溶蚀; 737. 溶蚀; 738. 溶蚀; 739. 溶蚀; 740. 溶蚀; 741. 溶蚀; 742. 溶蚀; 743. 溶蚀; 744. 溶蚀; 745. 溶蚀; 746. 溶蚀; 747. 溶蚀; 748. 溶蚀; 749. 溶蚀; 750. 溶蚀; 751. 溶蚀; 752. 溶蚀; 753. 溶蚀; 754. 溶蚀; 755. 溶蚀; 756. 溶蚀; 757. 溶蚀; 758. 溶蚀; 759. 溶蚀; 760. 溶蚀; 761. 溶蚀; 762. 溶蚀; 763. 溶蚀; 764. 溶蚀; 765. 溶蚀; 766. 溶蚀; 767. 溶蚀; 768. 溶蚀; 769. 溶蚀; 770. 溶蚀; 771. 溶蚀; 772. 溶蚀; 773. 溶蚀; 774. 溶蚀; 775. 溶蚀; 776. 溶蚀; 777. 溶蚀; 778. 溶蚀; 779. 溶蚀; 780. 溶蚀; 781. 溶蚀; 782. 溶蚀; 783. 溶蚀; 784. 溶蚀; 785. 溶蚀; 786. 溶蚀; 787. 溶蚀; 788. 溶蚀; 789. 溶蚀; 790. 溶蚀; 791. 溶蚀; 792. 溶蚀; 793. 溶蚀; 794. 溶蚀; 795. 溶蚀; 796. 溶蚀; 797. 溶蚀; 798. 溶蚀; 799. 溶蚀; 800. 溶蚀; 801. 溶蚀; 802. 溶蚀; 803. 溶蚀; 804. 溶蚀; 805. 溶蚀; 806. 溶蚀; 807. 溶蚀; 808. 溶蚀; 809. 溶蚀; 810. 溶蚀; 811. 溶蚀; 812. 溶蚀; 813. 溶蚀; 814. 溶蚀; 815. 溶蚀; 816. 溶蚀; 817. 溶蚀; 818. 溶蚀; 819. 溶蚀; 820. 溶蚀; 821. 溶蚀; 822. 溶蚀; 823. 溶蚀; 824. 溶蚀; 825. 溶蚀; 826. 溶蚀; 827. 溶蚀; 828. 溶蚀; 829. 溶蚀; 830. 溶蚀; 831. 溶蚀; 832. 溶蚀; 833. 溶蚀; 834. 溶蚀; 835. 溶蚀; 836. 溶蚀; 837. 溶蚀; 838. 溶蚀; 839. 溶蚀; 840. 溶蚀; 841. 溶蚀; 842. 溶蚀; 843. 溶蚀; 844. 溶蚀; 845. 溶蚀; 846. 溶蚀; 847. 溶蚀; 848. 溶蚀; 849. 溶蚀; 850. 溶蚀; 851. 溶蚀; 852. 溶蚀; 853. 溶蚀; 854. 溶蚀; 855. 溶蚀; 856. 溶蚀; 857. 溶蚀; 858. 溶蚀; 859. 溶蚀; 860. 溶蚀; 861. 溶蚀; 862. 溶蚀; 863. 溶蚀; 864. 溶蚀; 865. 溶蚀; 866. 溶蚀; 867. 溶蚀; 868. 溶蚀; 869. 溶蚀; 870. 溶蚀; 871. 溶蚀; 872. 溶蚀; 873. 溶蚀; 874. 溶蚀; 875. 溶蚀; 876. 溶蚀; 877. 溶蚀; 878. 溶蚀; 879. 溶蚀; 880. 溶蚀; 881. 溶蚀; 882. 溶蚀; 883. 溶蚀; 884. 溶蚀; 885. 溶蚀; 886. 溶蚀; 887. 溶蚀; 888. 溶蚀; 889. 溶蚀; 890. 溶蚀; 891. 溶蚀; 892. 溶蚀; 893. 溶蚀; 894. 溶蚀; 895. 溶蚀; 896. 溶蚀; 897. 溶蚀; 898. 溶蚀; 899. 溶蚀; 900. 溶蚀; 901. 溶蚀; 902. 溶蚀; 903. 溶蚀; 904. 溶蚀; 905. 溶蚀; 906. 溶蚀; 907. 溶蚀; 908. 溶蚀; 909. 溶蚀; 910. 溶蚀; 911. 溶蚀; 912. 溶蚀; 913. 溶蚀; 914. 溶蚀; 915. 溶蚀; 916. 溶蚀; 917. 溶蚀; 918. 溶蚀; 919. 溶蚀; 920. 溶蚀; 921. 溶蚀; 922. 溶蚀; 923. 溶蚀; 924. 溶蚀; 925. 溶蚀; 926. 溶蚀; 927. 溶蚀; 928. 溶蚀; 929. 溶蚀; 930. 溶蚀; 931. 溶蚀; 932. 溶蚀; 933. 溶蚀; 934. 溶蚀; 935. 溶蚀; 936. 溶蚀; 937. 溶蚀; 938. 溶蚀; 939. 溶蚀; 940. 溶蚀; 941. 溶蚀; 942. 溶蚀; 943. 溶蚀; 944. 溶蚀; 945. 溶蚀; 946. 溶蚀; 947. 溶蚀; 948. 溶蚀; 949. 溶蚀; 950. 溶蚀; 951. 溶蚀; 952. 溶蚀; 953. 溶蚀; 954. 溶蚀; 955. 溶蚀; 956. 溶蚀; 957. 溶蚀; 958. 溶蚀; 959. 溶蚀; 960. 溶蚀; 961. 溶蚀; 962. 溶蚀; 963. 溶蚀; 964. 溶蚀; 965. 溶蚀; 966. 溶蚀; 967. 溶蚀; 968. 溶蚀; 969. 溶蚀; 970. 溶蚀; 971. 溶蚀; 972. 溶蚀; 973. 溶蚀; 974. 溶蚀; 975. 溶蚀; 976. 溶蚀; 977. 溶蚀; 978. 溶蚀; 979. 溶蚀; 980. 溶蚀; 981. 溶蚀; 982. 溶蚀; 983. 溶蚀; 984. 溶蚀; 985. 溶蚀; 986. 溶蚀; 987. 溶蚀; 988. 溶蚀; 989. 溶蚀; 990. 溶蚀; 991. 溶蚀; 992. 溶蚀; 993. 溶蚀; 994. 溶蚀; 995. 溶蚀; 996. 溶蚀; 997. 溶蚀; 998. 溶蚀; 999. 溶蚀; 1000. 溶蚀; 1001. 溶蚀; 1002. 溶蚀; 1003. 溶蚀; 1004. 溶蚀; 1005. 溶蚀; 1006. 溶蚀; 1007. 溶蚀; 1008. 溶蚀; 1009. 溶蚀; 1010. 溶蚀; 1011. 溶蚀; 1012. 溶蚀; 1013. 溶蚀; 1014. 溶蚀; 1015. 溶蚀; 1016. 溶蚀; 1017. 溶蚀; 1018. 溶蚀; 1019. 溶蚀; 1020. 溶蚀; 1021. 溶蚀; 1022. 溶蚀; 1023. 溶蚀; 1024. 溶蚀; 1025. 溶蚀; 1026. 溶蚀; 1027. 溶蚀; 1028. 溶蚀; 1029. 溶蚀; 1030. 溶蚀; 1031. 溶蚀; 1032. 溶蚀; 1033. 溶蚀; 1034. 溶蚀; 1035. 溶蚀; 1036. 溶蚀; 1037. 溶蚀; 1038. 溶蚀; 1039. 溶蚀; 1040. 溶蚀; 1041. 溶蚀; 1042. 溶蚀; 1043. 溶蚀; 1044. 溶蚀; 1045. 溶蚀; 1046. 溶蚀; 1047. 溶蚀; 1048. 溶蚀; 1049. 溶蚀; 1050. 溶蚀; 1051. 溶蚀; 1052. 溶蚀; 1053. 溶蚀; 1054. 溶蚀; 1055. 溶蚀; 1056. 溶蚀; 1057. 溶蚀; 1058. 溶蚀; 1059. 溶蚀; 1060. 溶蚀; 1061. 溶蚀; 1062. 溶蚀; 1063. 溶蚀; 1064. 溶蚀; 1065. 溶蚀; 1066. 溶蚀; 1067. 溶蚀; 1068. 溶蚀; 1069. 溶蚀; 1070. 溶蚀; 1071. 溶蚀; 1072. 溶蚀; 1073. 溶蚀; 1074. 溶蚀; 1075. 溶蚀; 1076. 溶蚀; 1077. 溶蚀; 1078. 溶蚀; 1079. 溶蚀; 1080. 溶蚀; 1081. 溶蚀; 1082. 溶蚀; 1083. 溶蚀; 1084. 溶蚀; 1085. 溶蚀; 1086. 溶蚀; 1087. 溶蚀; 1088. 溶蚀; 1089. 溶蚀; 1090. 溶蚀; 1091. 溶蚀; 1092. 溶蚀; 1093. 溶蚀; 1094. 溶蚀; 1095. 溶蚀; 1096. 溶蚀; 1097. 溶蚀; 1098. 溶蚀; 1099. 溶蚀; 1100. 溶蚀; 1101. 溶蚀; 1102. 溶蚀; 1103. 溶蚀; 1104. 溶蚀; 1105. 溶蚀; 1106. 溶蚀; 1107. 溶蚀; 1108. 溶蚀; 1109. 溶蚀; 1110. 溶蚀; 1111. 溶蚀; 1112. 溶蚀; 1113. 溶蚀; 1114. 溶蚀; 1115. 溶蚀; 1116. 溶蚀; 1117. 溶蚀; 1118. 溶蚀; 1119. 溶蚀; 1120. 溶蚀; 1121. 溶蚀; 1122. 溶蚀; 1123. 溶蚀; 1124. 溶蚀; 1125. 溶蚀; 1126. 溶蚀; 1127. 溶蚀; 1128. 溶蚀; 1129. 溶蚀; 1130. 溶蚀; 1131. 溶蚀; 1132. 溶蚀; 1133. 溶蚀; 1134. 溶蚀; 1135. 溶蚀; 1136. 溶蚀; 1137. 溶蚀; 1138. 溶蚀; 1139. 溶蚀; 1140. 溶蚀; 1141. 溶蚀; 1142. 溶蚀; 1143.

12.1岩溶发育的基本条件与影响因素

12.1.1岩溶发育条件

岩溶发育条件包括两个基本条件、四个必备条件。

两个基本条件：

- (1) 岩层具有可溶性；
- (2) 地下水具有侵蚀能力。

四个必备条件：

- (1) 可溶岩的存在；
- (2) 水是流动的；
- (3) 可溶岩必须是透水的；
- (4) 具有侵蚀能力的水。



12.1岩溶发育的基本条件与影响因素

12.1.2岩溶发育的影响因素

(1) 可溶岩的存在，可溶岩的成分与结构是控制岩溶发育的内因；

(2) 可溶岩必须是透水的，水流才能进入岩石进行溶蚀；

(3) 水具有侵蚀能力，含有CO₂或其它酸类，侵蚀能力才明显增强；

(4) 水是流动的，水的流动是保证岩溶发育的充要条件，水不流动，终究会达到饱和而停止发展；

(5) 其它因素：植被土壤发育的湿热气候条件下岩溶格外发育；构造作用产生的裂隙影响岩石的透水性和水的流动。



12.1岩溶发育的基本条件与影响因素

12.1.3碳酸盐的成分与结构

可溶岩：

- (1) 卤化物岩（岩盐、钾盐、镁盐），分布少；
- (2) 硫酸盐岩（石膏），分布少；
- (3) 碳酸盐岩（石灰岩、白云岩、大理岩），分布面积大。

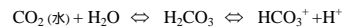
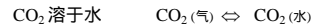
可溶岩作为岩溶发育的物质基础，作为溶解对象，不同成分与结构的岩石溶解的难易程度不同；作为导水介质，在后期的构造应力作用下形成的裂隙有所差异，控制地下水流动而影响岩溶发育。



12.1岩溶发育的基本条件与影响因素

12.1.4碳酸盐岩、水、二氧化碳体系

分析三者的相互作用是研究岩溶化过程的关键。气固液之间有如下反应：



水中CO₂能够促进CaCO₃溶解是因为CO₂溶于水的生成物H⁺能与CaCO₃溶于水的生成物OH⁻结合，降低了CaCO₃溶于水的生成物的浓度，向正反应进行，促进溶解。



12.1岩溶发育的基本条件与影响因素

含有CaCO₃的水是否具有侵蚀性，可用水中CaCO₃的饱和指数判断：

$$S_{IC} = \lg \frac{[Ca^{2+}][CO_3^{2-}]}{K_c}$$

式中S_{IC}—饱和指数；

[Ca²⁺]、[CO₃²⁻]—表示Ca²⁺、CO₃²⁻两种离子的活度；

K_c—式(12-1)中平衡常数，依温度T、压力p查手册。

S_{IC}>0，水中CaCO₃过饱和，有发生沉淀趋势；

S_{IC}=0，水中CaCO₃刚好饱和；

S_{IC}<0，水中CaCO₃仍未饱和，具有侵蚀性。

注意：(1)用于对方解石的侵蚀性判断，(2)S_{IC}与PH关系密切，PH应野外现场测定。



12.1岩溶发育的基本条件与影响因素

不具侵蚀的两种不同含量CO₂的饱和CaCO₃溶液，混合后会变为不饱和而重新具有侵蚀性，这种现象叫混合溶蚀效应(mixing corrosion effect)。这种混合以及SO₄²⁻、Cl⁻、Na等的加入都可能增加水的侵蚀性。可用于研究海岸地区岩溶发育机理，深部岩溶，导水通道汇合处的岩溶发育。

地下水获得CO₂（吸收化学能）有两种方式：

(1) 大气中CO₂以分子扩散形式通过潜水面进入地下水，但量非常少；

(2) 地下水中的CO₂主要来源是土壤中微生物分解有机质使之氧化以及植物根系呼吸作用产生的CO₂（土壤空气中CO₂含量通常1~3%，远比大气中0.03%大得多）。



12.1 岩溶发育的基本条件与影响因素

可溶岩、水、CO₂体系的能量输入通过地下水的不断入渗补给来实现，地下水的循环交替是保证岩溶发育的充要条件，若没有水的流动，封闭体系中因达到化学平衡状态，岩溶化作用也就不再发展。



12.1 岩溶发育的基本条件与影响因素



12.1 岩溶发育的基本条件与影响因素



12.2 岩溶水的演变

12.2.1 地下水流对介质的改造

具有化学侵蚀作用的水进入可溶岩层，对原有的狭小通道（原生裂隙和构造裂隙）进行扩展，水流不断溶蚀裂隙壁面，溶于水的岩石成分被流动的水流带走，裂隙通道不断加宽。

岩溶演化的正反馈过程：

不均匀介质 不均匀水流 差异性溶蚀 更不均匀介质
更不均匀水流 进一步的差异性溶蚀...

岩溶发展的过程实质上就是：

介质的非均质化过程；
水流的集中过程。



12.2 岩溶水的演变

岩溶发育阶段划分：基本上分三个阶段，包括：

(1) **起始阶段**：地下水对介质以**化学溶蚀**作用为主，水流通道比较狭小，地下水几乎没有机械搬运能力，岩溶发育比较缓慢。所需时间取决于**环境因素**（气候）和**初始裂隙水场**（取决于边界与介质）。**隔水边界**对地下水径流的分散或集中起重要控制作用。介质不均匀，水流不均匀，有利于岩溶的快速演化。

(2) **快速发展阶段**：**差异性溶蚀**使少数通道优先扩展成为**主要通道**，岩溶水系统的水优先进入主径流通道流动。当主体通道宽度达5-50mm时，开始出现**紊流**，地下水开始具有一定的机械搬运能力，水流越来越向少数通道集中，并使其优先发展，形成较畅通的径流排泄网，水流的**机械侵蚀能力**也增强。

(3) **停滞消亡阶段**：岩溶不再发展。



12.2 岩溶水的演变

在**岩溶快速发展阶段**，**介质场和流场**发生如下变化：

地下水流对介质的改造由**化学溶蚀**为主变为以**机械侵蚀**和**化学溶蚀**共存，**机械侵蚀**变得愈加重要。

地下出现各种规模的**洞穴**。

地表形成**漏斗**及**落水洞**，并以它们为中心形成各种规模的**洼地**，汇集降水。

随着介质导水能力迅速提高，**地下水位**总体下降，新的地下水面上洞穴干涸，失去进一步发展的能力。

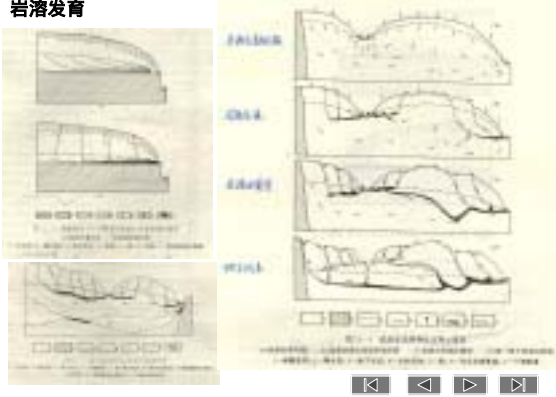
通过**争夺水流**的竞争变得更加剧烈，最后只剩少数几个大的管道优先发展，余皆依附之为支流。

不同地下河系发生**袭夺**，地下河系不断归并，流域扩大。溶洞起集水、导水作用，主要贮水空间仍为裂隙、溶隙。



12.2 岩溶水的演变

岩溶发育



12.2 岩溶水的演变

12.2.2 地下水流动系统与岩溶发育的空间特征

地下岩溶是地下水对可溶介质改造的结果，**地下径流条件**是控制岩溶发育的最活跃、最关键的因素，地下径流越强烈，地下水的侵蚀性越强，输入的化学能及溶解带走的 CaCO_3 就越多，在可溶岩中留下的空洞的总体积就越大。可溶岩中的各种缝隙管道（洞）是地下水流的“化石印模”，记载着地质历史时期地下水径流方向、强度乃至持续时间信息。

给定气候条件下，某一部位**地下径流强度**（用渗透流速 V 表征，用 KI 表示）与作用时间 T 之积，大体上可说明该部位输入总化学能，与可溶岩岩性结合可估算输出的物质总量（ CaCO_3 、 MgCO_3 等）。地下水流交替条件不同，岩溶发育条件也不相同；岩溶发育与地下水流动是相适应的。

12.2 岩溶水的演变

易发生岩溶的部位：

- (1) **褶皱轴部**尤其是向斜轴部，往往张开裂隙发育，又是地下水汇集的部位，流线在此密集，地下河系发育。
- (2) **断层带**往往是岩溶集中发育处，因此处导水好，流线密集。
- (3) 在可溶岩与下伏隔水层的**接触面**上易发育成层的溶洞。

12.1 岩溶发育的基本条件与影响因素



12.2 岩溶水的演变

广西地苏暗河



12.2 岩溶水的演变

岩溶区地下水流系统：

- (1) **非饱和流动系统**：地下水以大气降水的间歇性垂向运动为主，常形成垂向发育的溶蚀裂隙、落水洞、溶斗、竖井。
- (2) **局部地下水流系统**：循环深度浅，源汇距离短，地下径流强烈，大体以水平运动为主，岩溶最为发育，多形成以水平溶洞为主的管道系统、倾斜溶洞。
- (3) **区域地下水流系统**：地下水流受区域性侵蚀基准面控制，径流途径长，径流迟滞且随深度增大而更缓慢，岩溶通常不发育，仅在局部径流较强烈的地段形成岩溶洞穴。

构造运动引起侵蚀基准面升降时，影响岩溶的垂直分带。

12.3 岩溶水的特征

12.3.1 岩溶含水介质的特征

(1) 岩溶含水介质具有很大的不均匀性，有规模巨大的管道溶洞（长达10km），又有十分细小的裂隙及空隙，实际为尺寸不等的空隙所构成的多级次空隙系统。

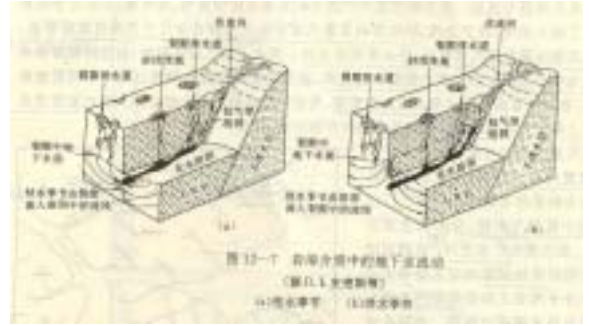
(2) 广泛分布的细小孔隙与裂隙，是主要的贮水空间；大的岩溶管道与开闢的溶蚀裂隙构成主要导水通道；介于二者之间的裂隙网络兼具贮水空间和导水通道的作用。

(3) 岩溶水量分布极不均匀，宏观上统一的水力联系与局部水力联系不好，是由岩溶含水介质的多级次性与不均匀性决定的。



12.3 岩溶水的特征

岩溶水的运动特征



12.3 岩溶水的特征

12.3.2 岩溶水的运动特征

(1) 通常为层流、紊流共存，细小孔隙与裂隙中的地下水一般为层流运动，大管道中的地下水一般呈紊流运动。

(2) 在岩溶水系统中，局部流向与整体流向常常是不一致的。

(3) 岩溶可以是潜水，也可以是承压水。



12.3 岩溶水的特征

岩溶水的运动特征

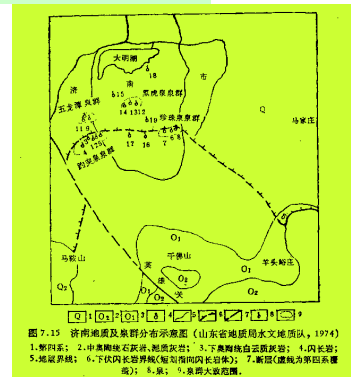


图 7.15 岩溶分布及泉群分布示意图 (山东省地质局水文地质队, 1974)
1. 第四系; 2. 中奥陶统石灰岩、砾岩层; 3. 下寒武统白云质灰岩; 4. 内长岩;
5. 地槽界线; 6. 下伏内长岩群(包括内长岩); 7. 奥陶统(奥陶统灰岩);
8. 泉; 9. 泉群大致范围。



12.3 岩溶水的特征

岩溶水的运动特征

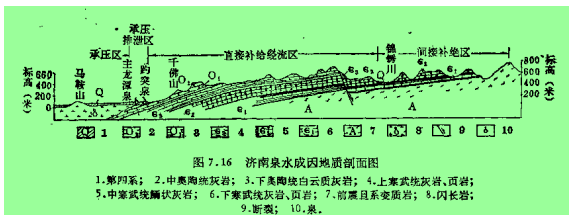


图 7.16 济南泉水成因地质剖面图

1. 第四系; 2. 中奥陶统灰岩; 3. 下奥陶统白云质灰岩; 4. 上寒武统灰岩、页岩;
5. 中寒武统层状灰岩; 6. 下寒武统灰岩、页岩; 7. 前震旦系变质岩; 8. 内长岩;
9. 断裂; 10. 泉。



12.3 岩溶水的特征

12.3.3 岩溶水的补、径、排与动态特征

强烈的岩溶化地区，面状降水汇集于低洼的溶斗、落水洞等灌入式补给岩溶水，南方入渗补给系数 $a = 0.40 \sim 0.80$ ，北方 $a = 0.10 \sim 0.30$ 。

灌入式的补给、畅通的径流和集中的排泄（大泉、泉群），加上岩溶含水介质空隙率（相当于给水度 m ）不大，决定着岩溶水水位动态变化非常强烈，补给区水位变化达 $n \times 10 \sim n \times 100m$ ，变化迅速而缺乏滞后。

泉流量变化也很大，岩溶化山区，岩溶水的埋深可达数百米，无泉水与地表水，为严重的缺水地区。



12.4 我国南北方岩溶及岩溶水的差异

12.4.1 南方岩溶及岩溶水

(1) **岩溶发育程度**：南方岩溶发育比较充分，岩溶现象较典型，地表可有峰丛、峰林、溶蚀洼地、溶斗、落水洞、竖井等，地下多发育较为完成的地下河系；

(2) **介质均匀性**：岩溶含水介质常是高度管道化与强烈不均匀的，岩溶岩对降水的响应十分灵敏，流量季节变化很大；

(3) **岩石成分**：岩溶区多分布巨厚到块状的纯净碳酸盐岩，多发育有裸露型岩溶，介质可溶性强，受构造应力时易形成稀疏而宽大的裂隙。

(4) **地质构造**：地质构造上属于较紧密的褶皱，向斜核部多易发地下河系。降水充沛，补给强。



12.4 我国南北方岩溶及岩溶水的差异

12.4.2 北方岩溶及岩溶水

(1) **岩溶发育程度**：北方岩溶发育多不完整，地表少有溶斗、落水洞等，地表多呈常态的山形；

(2) **介质均匀性**：含水介质相对均匀，成井率较高，岩溶大泉汇水面积大，流量相对稳定；

(3) **岩石成分**：含水介质---碳酸盐岩一般成层较薄，夹泥质与硅质夹层，多与非可溶岩互层，多发育覆盖型岩溶；介质可溶性差，形成密集、均匀而短小的构造裂隙；

(4) **地质构造**：因多为宽缓的向斜或单斜，不利于水流的集中分布、降水少，水的侵蚀力弱，岩溶发育弱。

