

# 成都市含石膏、钙芒硝盐红层的特性及工程勘察问题探讨

张小林, 余行健, 江云, 柴春阳

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:** 成都市含石膏、钙芒硝盐红层在环境水作用下产生不同程度的溶蚀作用, 这种溶蚀作用下产生的环境水对地下构筑物产生硫酸盐腐蚀作用, 从而引发工程问题。本文通过对成都市含石膏和钙芒硝盐红层的分布特征、物质成分、岩体结构构造和物理力学特性进行了研究和总结。研究发现, 成都市的红层分布范围广, 物质成分和岩体结构构造复杂。红层中包含有石膏与钙芒硝泥(或砂岩)、石膏与钙芒硝岩以及泥(或砂)质石膏与钙芒硝岩等不同类型的软岩, 这些岩石的物理力学性质指标存在较大的离散性。红层泥岩、砂岩、石膏与钙芒硝岩均属软岩; 石膏、钙芒硝岩的力学性质均在较大程度上优于泥岩。白云岩的力学性质均在较大程度上优于石膏、钙芒硝岩。此外, 含石膏和钙芒硝盐的红层容易受溶蚀作用, 产生溶洞或溶蚀孔。基于上述特点, 本文探讨了成都市含石膏和钙芒硝盐红层相关的工程勘察问题。

**关键词:** 成都市; 红层; 石膏岩; 钙芒硝岩; 工程勘察

**中图分类号:** P642; P56; P583; TU452 **文献标识码:** A

## CHARACTERISTICS AND ENGINEERING INVESTIGATION ISSUES OF RED LAYER COMPRISING GYPSUM AND GLAUBERITE SALT IN CHENGDU CITY

ZHANG Xiao-lin, YU Xing-jian, JIANG Yun, CHAI Chun-yang

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., LTD., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** The red layer containing gypsum and glauberite Salt in Chengdu City produces different degree of dissolution under the action of environmental water, and the environmental water produced under the dissolution produces sulfate corrosion on underground structures, Which leads to engineering problems. This pape studies and summarizes the distribution characteristics, material composition, rock mass structure, and physical-mechanical properties of Red Layer comprising gypsum and glauberite Salt in Chengdu City. It is found that the red beds in Chengdu have a wide distribution range, complex material composition, and rock mass structure. The red beds contain gypsum and glauberite salt mudstone (or sandstone), gypsum and glauberite Salt rock, as well as clayey (or sandy) gypsum and glauberite salt rock. These rocks are all categorized as soft rocks, with significant variations in their physical-mechanical properties. Moreover, the gypsum and glauberite salt red beds are prone to dissolution, leading to the formation of sinkholes or dissolution cavities. Based on these characteristics, this paper discusses the engineering

investigation issues related to Red Layer comprising gypsum and glauberite Salt in Chengdu City.

**Key words:** Chengdu; red layer; gypsum; calcium glauberite; engineering investigation

近年来,随着成都市经济建设的快速发展,充分利用地下深部空间成为必然,而成都市下伏红层软岩为白垩系上统灌口组泥岩、砂岩,石膏、钙芒硝岩及含石膏(或钙芒硝)泥岩、泥(或砂)质石膏、泥(或砂)质钙芒硝岩普遍存在,其物质成分、岩体结构构造特征、物理力学特性及特殊岩土性质影响与制约地下工程建设。不同学者对成都红层泥岩进行了大量研究,主要集中在红层泥岩的物质成分、微观结构、物理力学特性及特殊岩土性质(胀缩性、遇水软化、崩解性等);对石膏与钙芒硝岩也有大量研究,主要集中在沉积环境与分布研究,物理力学特征研究;溶蚀及对钢筋砼腐蚀研究<sup>[1-9]</sup>。石膏、钙芒硝岩系软岩,其强度特性是岩土工程共同关心的重点,在石膏岩的力学特性及影响因素方面的主要研究集中在石膏岩的力学性质及含水率、温度、围压等对其影响<sup>[10-14]</sup>。

成都红层因其特殊的形成环境导致其物质成分、岩体结构、岩土物理力学特性差异极大。对其物质成分、岩体结构、岩土物理力学特性系统研究并不多,含石膏与钙芒硝岩红层勘察在相关的行业规范和工程地质手册等极少涉及。因此研究和整理成都含石膏、钙芒硝盐红层物质成分、岩体结构、岩土物理力学特性,探讨含石膏、钙芒硝盐红层工程地质勘察有着非常重要的现实意义。本文重点研究与探讨红层中含膏(钙芒硝盐)泥岩、含膏(钙芒硝盐)砂岩、泥质砂质石膏岩、泥质砂质钙芒硝岩的岩土工程特性及工程勘察问题。

## 1 成都红层的物质成分、岩体结构及物理力学特性

### 1.1 成都红层的物质成分、岩体结构构造

成都市最常见的红层软岩为白垩系上统灌口组泥岩、砂岩、石膏、钙芒硝岩及含石膏(或钙芒硝)泥岩、含石膏(或钙芒硝)砂岩、泥(或砂)质石膏、泥(或砂)质钙芒硝岩。湖盆周围的硫酸盐等盐类物源和干旱的气候是石膏、钙芒硝岩形成的两个重要因素。膏盐岩是一种蒸发岩,生成于干旱与半干旱的气候条件下以及封闭或者半封闭的沉积环境中。石膏的成因涉及海相沉积、湖相沉积、变质作用、热液作用

以及岩溶作用,其中陆相环境中形成的硬石膏、石膏和芒硝往往与红色或杂色陆源碎屑岩共生。石膏、钙芒硝按其成因可分为原生和次生。原生石膏、芒硝是指和红色碎屑同时形成的化学沉积物,一般顺层发育;四川红层石膏、芒硝主要是原生膏盐岩。石膏、钙芒硝在地层中存在的形式多样,可呈透镜体状、薄~厚层状、亦可为夹层及条带状。

关于成都市地下空间膏盐岩的分布规律,韩浩东等<sup>[1]</sup>通过对钻井资料的搜集,梳理了含膏岩层的分布规律(图1)。

研究表明成都市含膏盐泥岩地层主要分布于龙泉山以西地区,埋藏深度整体呈现“西深东浅、局部差异”的特征。在温江区-郫都区-彭州市埋藏深度超过200 m;中心城区含膏岩泥岩埋藏深度在10~90 m范围内变化,主要分布范围为10~40 m。钙芒硝岩则夹于含膏盐泥岩内部,厚度约50~70 m。

白垩系灌口组岩性主要包括泥岩、粉砂质泥岩、含膏盐泥岩、膏质泥岩、钙芒硝岩、硬石膏岩、石膏夹层、含钙芒硝泥岩、含白云质团块泥岩及膏质白云岩等。通过室内实验、声波速度、电阻率、自然伽马测井等手段可有效进行区分。

我们通过对成都市上百钻孔资料进行统计分析得出:成都地区,最常见的红层软岩为灌口组泥岩,石膏、芒硝普遍存在于其中;成都红层膏盐含量分布不均,含膏岩层上部较少,一般占比在5%~10%左右,溶蚀孔洞发育相对较少;在岩层下部含量较多,最大占比可达85%。

成都市某工地钻孔资料表明:石膏主要为硬石膏,少量软石膏,部分结晶为板状、板条状,呈集合体的不规则团状、花瓣状、束状、竹叶状、透镜状分布,分布较为均匀;芒硝呈不规则团状、椭圆状,集合体与石膏呈镶嵌状分布,薄片中有滴水有溶蚀现象。白云石为泥晶状,被石膏、芒硝分割呈块状、细脉状;黏土为隐晶质,分散于白云石集合体之中;粉砂为石英,呈分散点状分布于白云石集合体之中,褐铁矿为粉末状,分散状分布,主要分布于白云石之中。成都区域内含石膏、钙芒硝盐红层岩体结构构造更加复杂,无法一一列举。

从上可知:成都红层分布范围广,物质成分、岩体结构构造复杂,主要有泥岩、砂岩、粉砂质泥岩、含

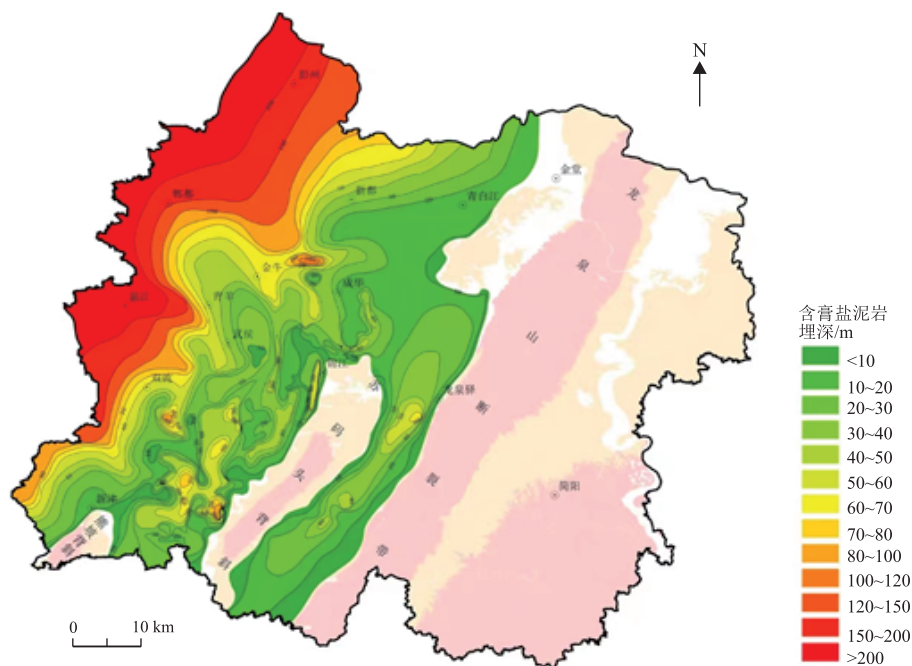


图1 成都市白垩系灌口组红层富膏盐泥岩埋深分布规律图

膏盐泥岩、膏质泥岩、钙芒硝岩、硬石膏岩、石膏夹层、含钙芒硝泥岩等；含石膏（钙芒硝）盐红层结构构造复杂，构造上有薄层的、中层的、厚层的、团块状的、透镜状等。结构上有角砾状的、纤维状、板状、细分散颗粒状等。角砾状的钙芒硝岩，往往混杂有石膏、硬石膏，且厚度大。

## 1.2 成都红层物理力学特性

不同学者对红层含膏泥岩、砂岩、石膏与钙芒硝岩的物理力学特性均有一定的研究，我们通过对成都市地铁、市政等大量工程中物理力学性质试验得出其主要物理力学特性统计如表1。

为了进一步对比，通过收集其余地区的研究资料<sup>[15-17]</sup>得出白云岩、石膏、钙芒硝岩基本力学参数如表2。

另根据西北水利勘察设计院101地质队资料，对西宁第三系石膏岩天然状态与浸水状态的强度进行了对比试验，试验结果表明：石膏岩天然状态下抗压强度为31 892 kPa，抗拉强度为1 599 kPa；样品浸水28 d后抗压强度为28 331 kPa，抗拉强度为1 413 kPa，软化系数为0.88。样品浸水前期随时间延长饱和抗压强度明显地下降，尔后强度不再降低。即浸水10 d抗压强度降低30%，浸水30 d强

表1 成都市典型含膏岩层基本物理力学性质指标综合统计表

岩石名称	统计项目	含水率 $\omega/\%$	密度 $\rho_0/g \cdot cm^{-3}$	弹性模量 $E_{50}/10^4 MPa$	天然单轴抗压强度 $R/MPa$	饱和单轴抗压强度 $R/MPa$	内聚力 $C/MPa$	内摩擦角 $\varphi/^\circ$
中风化泥岩	最大值	19.86	2.40	2.14	15.65	11.30	1.33	46.8
	最小值	7.28	2.16	0.92	3.96	1.50	0.36	34.3
	标准值	12.37	2.28	1.17	6.18	3.07	0.60	37.95
中风化泥岩	最大值	22.08	2.47	2.30	22.5	15.22	2.1	56.7
	最小值	5.00	2.01	0.70	1.01	0.92	0.15	28.0
	标准值	12	2.25	1.11	5.15	3.42	0.72	38.75
石膏岩				4.72~9.42	12.4~37.5		3.22~8.40	26.6°~44.8°
钙芒硝岩				3.84~9.15	10.2~29.4		3.32~7.90	28.6°~45.6°

表2 石膏钙芒硝岩、白云岩基本力学参数

岩样	单轴抗压强度/MPa	单轴抗拉强度/MPa	弹性模量/GPa	泊松比	内摩擦角/ $^\circ$	黏聚力/MPa
石膏岩	29.3	1.53	4.25	0.122	40.89	1.64
硬石膏岩	69.8	3.93	7.21	0.055	30.27	3.31
钙芒硝岩	18.86	2.59				
白云岩	40~140	1.1~4.0	13~34	0.36~0.16		

度降低 45%,浸水 60 d 后强度下降幅度逐渐减低, 浸水变化试验成果如表 3。  
浸水半年以上强度基本不再下降。石膏岩抗压强度

表 3 石膏岩浸水抗压强度

指标	干燥	浸水时间/d								
		10	20	30	40	50	60	100	180	360
干抗压强度平均值/kPa	30 509	21 092	17 556	16 873	20 699	15 696	15 794	14 831	14 617	14 715
与干抗压强度的比值/%	100	69	58	55	68	52	52	49	48	48

李科学、阳凌峰等<sup>[4]</sup>试验研究表明石膏岩在饱和状态是一种易软化的软岩(单轴抗压强度 > 5 MPa),岩体基本质量等级Ⅳ。岩石抗剪强度内聚力 C 平均值为 1.3 kPa,内摩擦角为 40.5°。

### 1.3 物质成分、膏盐含量及水化率对成都红层物理力学特性指标的影响研究

我们针对硬石膏岩浸水后单轴抗压强度变化研究石膏含量、水化率(硬石膏经水化转化为二水石膏的百分含量)对其强度的影响。

岩样由 X 射线法对试样矿物组成鉴定,其主要物质成分分别是:(二水石膏)CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O、(白云石)Ca · Mg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 和(石英)SiO<sub>2</sub>。其中,二水石膏占 40%~94%,白云石占 9%~30%,石英约占 10%~20%,少量样品含黏土矿物。

对 35 组测试数据,首先按照水化率(以 5%为距、以 10%为幅)进行分组,分组时考虑每组中的试验数据数量;然后再按照硬石膏含量(一般 5%为距)进行数据归并求均值。经数据处理后获得 12 组不同水化率条件下单轴抗压强度与石膏岩含量的关系(水化率 19%~31%间数据数量少,未作分析),如图 2 所示,由此可知:

(1) 硬石膏水化率为 0 时,即为硬石膏时,其单轴抗压强度指标为 17.15~34.98 MPa;硬石膏水化率大于 90%时,其单轴抗压强度指标为 10.33~28.21 MPa,平均低于硬石膏岩,其余不同硬石膏含量及不同水化率条件下其单轴抗压强度指标为 6.04~19.53 MPa,明显低于硬石膏,低值近泥岩,其中系膏岩中混有其他黏土矿物造成。

(2) 不同水化率下试件单轴抗压强度与硬石膏含量的关系整体上不具备一致性,水化率在 0.0%~65%区间中,试件单轴抗压强度总体上随着硬石膏含量的增加而降低,单轴抗压强度在 5~20 MPa 间。水化率在 70%~80%区间内,宏观上可以用上凹抛物线进行描述时具有一定的一致性;单轴抗压强度在 6~20 MPa 间,强度最低点发生在硬石膏含量 65%~70%间。水化率在 84%~93%区间中,试件单轴抗压强度与硬石膏含量间关系具有较好的一致性,整体上单轴抗压强度随着硬石膏含量的增加

而增加,单轴抗压强度在 5~20 MPa 间。仅在局部或较小的水化率范围内具有一致性。因此,试件单轴抗压强度与硬石膏含量两者间不能用某一具体的曲线进行宏观表述。

同样,首先对 35 组测试数据按照硬石膏含量进行分组,分组时考虑每组中的试验数据数量,然后再按照水化率进行数据归并求均值。经数据处理后获得 4 组石膏含量条件下单轴抗压强度与水化率的关系,如图 3 所示。

由此可知:不同石膏含量下试件单轴抗压强度与水化率间的关系整体上表现为两种不同形态,一种总体上呈现为下凹型变化,一种总体上呈上凹型变化。单轴抗压强度与水化率间也无明显的相关关系。

对含膏泥岩、含膏砂岩、泥质膏岩、砂质膏岩、泥质钙芒硝岩、砂膏钙芒硝岩等有零星报道,少有系统研究。

刘宇<sup>[18]</sup>等研究表明:含膏红层岩体的物质组成主要为伊利石、石英、正长石、方解石、绿泥石、蒙脱石,部分泥岩中含石膏、白云石,随着深度的增加,膏盐含量逐渐增加。含膏红层岩体的密度为 2.08~2.33 g/cm<sup>3</sup>,中等风化泥岩的软化系数变化范围 0.31~0.22,含泥石膏岩的软化系数变化范围 0.56~0.58。现场压水试验表明:平均透水率为 30.79~33.29 Lu。在空洞区内岩体裂隙发育,对存在空洞的钻孔,吕荣值都在 33 Lu 左右,最大的达到 37 Lu,场地基岩属于强透水性。中等风化泥岩的抗剪强度参数中黏聚力为 0.59~0.72 MPa,内摩擦角 38°~40°;石膏岩抗剪强度参数为黏聚力 1.32~0.87 MPa,内摩擦角 44.4°~42.4°;中等风化泥岩单轴饱和和抗压强度和天然抗压强度标准值分别为 1.85 MPa 和 3.33 MPa,含泥质石膏岩单轴饱和和抗压强度和天然抗压强度标准值分别为 5.51 MPa 和 7.42 MPa,软化系数一般为 0.56~0.58。

李科学、阳凌峰等<sup>[4]</sup>在常温条件下,对含泥质石膏岩分别作浸水 7 d 和 14 d 后的饱和单轴抗压强度试验研究。7 d 后饱和单轴抗压强度降幅 12.3%~15.6%,14d后饱和单轴抗压强度降幅 25.7%~

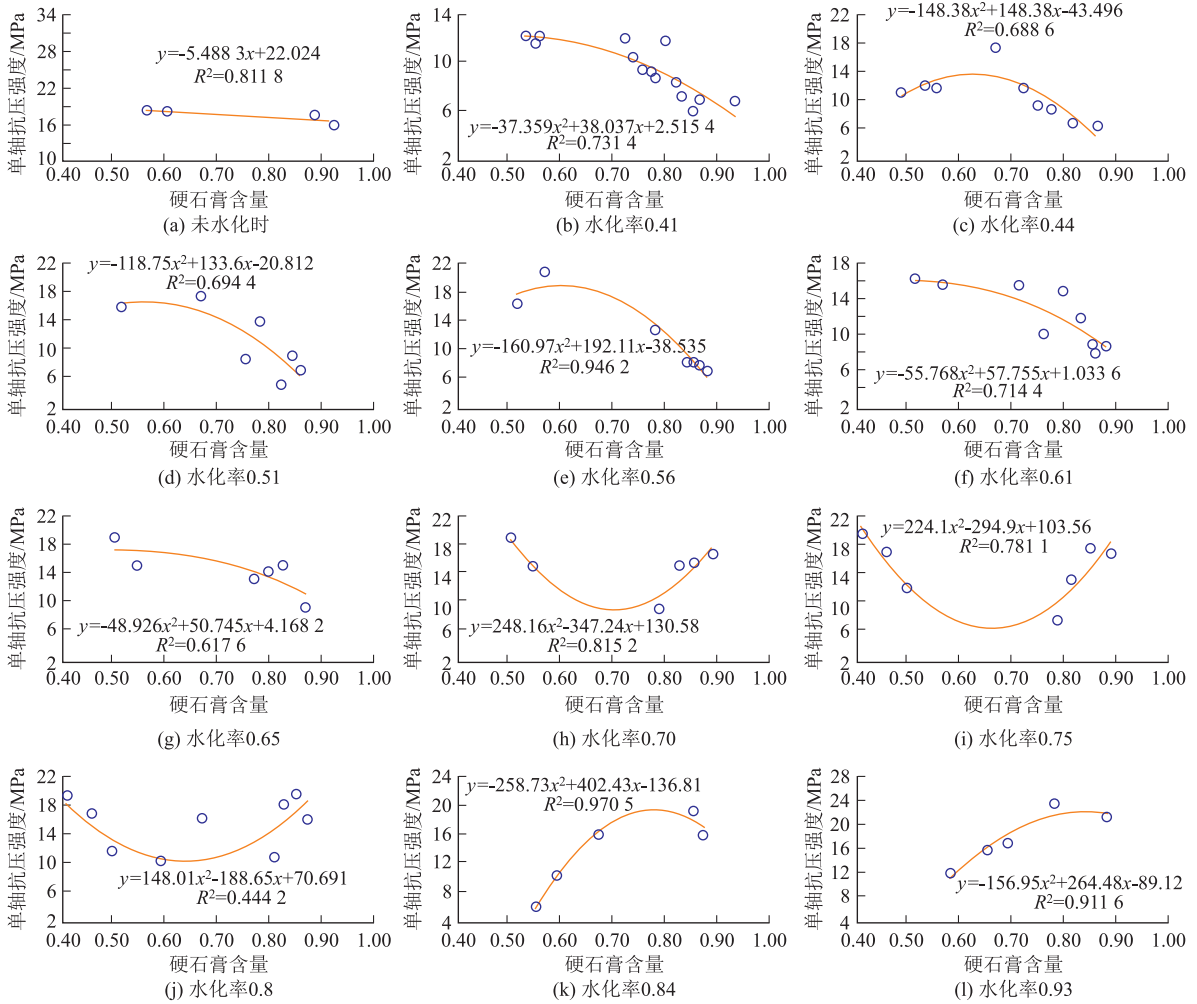


图2 单轴抗压强度与硬石膏含量关系

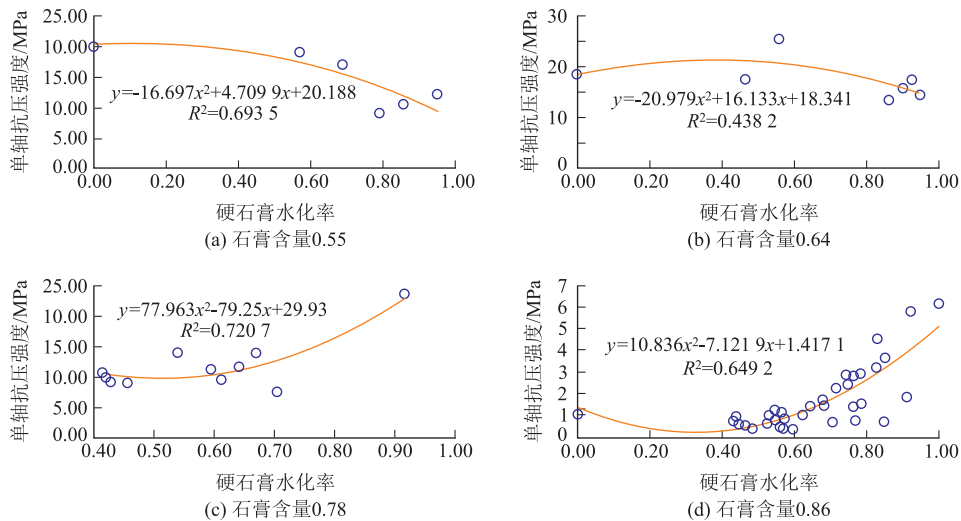


图3 单轴抗压强度与水化率关系

30.3%，相信随着时间的持续，其力学强度还会进一步下降。

不难看出，红层泥岩、砂岩、石膏与钙芒硝岩均属软岩；石膏、钙芒硝岩的力学性质均在较大程度上

优于泥岩。白云岩的力学性质均在较大程度上优于石膏、钙芒硝岩。红层中泥岩、砂岩、石膏与钙芒硝岩物理力学性质指标均有较大的离散性，这与其物质成分的复杂性相关。石膏样品浸水前期随时间延

长饱和抗压强度明显地下降,当浸水半年以上强度基本不再下降;膏岩含量、水化率与单轴抗压强度无统一规律可循;含膏泥岩、含膏砂岩、泥质膏岩、砂质膏岩、泥质钙芒硝岩、砂质钙芒硝岩、膏质白云岩物理力学特性指标均未有深入研究,试验资料大多也非常笼统,石膏与钙芒硝含量对红层砂、泥岩及砂、泥质含量对石膏、钙芒硝岩的影响无系统研究报道。

## 2 成都红层环境水与溶蚀现象

成都红层中地下水主要为静水状态,局部为动水状态;无论静水状态还是动水状态均会产生一定程度的溶蚀作用。

(1) 成都地区含石膏、钙芒硝红层不同程度产生溶蚀现象,表现为溶孔及空洞,由于红层泥岩具有遇水软化及崩解,溶蚀空洞会进一步扩大,导致岩体结构失稳,造成工程隐患。一般而言溶孔分布深度较浅,空洞分布深度较深。空洞的大小不一,主要直径范围在1.0~6.5 m,溶蚀水对钢筋砼产生硫酸盐腐蚀作用。

(2) 石膏岩遇水产生溶蚀和重新结晶现象,但溶蚀和重新结晶的产生受诸多条件的影响。研究认为:主要受岩石介质条件(石膏岩类型、含量、岩体结构类型),水文条件(水流条件、温度、压力、与介质接触状况)影响,目前成都市石膏质水岩作用研究主要集中在水文条件上,所取岩样均只代表局部,且均在实验室内配制不同性质水溶液,模拟水流及环境条件(静水、动水、水温、水压等)。钙芒硝盐与石膏岩类似,均具化学盐类溶蚀与再结晶特征。

(3) 韩浩东等<sup>[1]</sup>研究表明:在较深的部位钻孔揭示出连续成层分布的石膏层。钻孔中含有较厚石膏夹层的泥岩以及膏盐含量很高的层位通常溶蚀现象不明显,表明这些层段无地下水流动以及垂向渗流,未发生石膏的溶解,间接表明纯膏盐层及较厚的富膏盐层因其自身可塑性较强,孔隙度、渗透率均较低,形成了良好的地下水隔水性岩层,地下水活动弱。在牧马山山地深部(60 m以深)富钙芒硝层段,其上部有多层石膏层的阻隔,地下水不易入渗,溶蚀现象不明显;而在台地东北部的府河、江安河沿岸区域,由于含石膏、钙芒硝地层埋深较浅(10~45 m),加之钙芒硝层上部石膏层已剥蚀殆尽,地表径流入渗及地下水顺层运移过程中对其产生溶蚀,溶蚀空洞、充填型溶洞等溶蚀现象较为常见。

## 3 对成都市红层工程勘察的探讨

除泥岩、砂岩、石膏岩、钙芒硝岩外,成都红层中

还广泛分布含膏(钙芒硝盐)泥岩、含膏(钙芒硝盐)砂岩、泥(或砂)质石膏岩、泥(或砂)质钙芒硝岩等,其物质成分、岩体结构构造复杂,根据肉眼及室内岩石薄片鉴定可对其物质成分、岩体结构作出判断,但对其物质成分、各成分占比、岩石结构作详细了解则须通过电子显微镜、x光射线,差热分析等手段,目前尚不清楚含膏(或钙芒硝)泥岩、含膏(或钙芒硝)砂岩中石膏、钙芒硝盐含量及存在形式、岩石结构对岩土物理力学特性的影响,可以肯定的是膏岩中石膏( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )与硬石膏( $\text{CaSO}_4$ )在一定条件下相互转化;同时我们研究认为:膏岩含量、水化率与岩石单轴抗压强度也无统一规律可循;也不清楚黏土矿物对泥质(或砂质)石膏岩、泥质(或砂质)钙芒硝岩的存在对岩土物理力学特性的影响,因此工程中宜按含膏(钙芒硝盐)泥岩、含膏(钙芒硝盐)砂岩、泥(或砂)质石膏岩、泥(或砂)质钙芒硝岩等大类进行分类。红层中含膏(钙芒硝盐)泥岩、含膏(钙芒硝盐)砂岩、泥质(或砂质)石膏岩、泥质(或砂质)钙芒硝岩物理力学指标分散,石膏、钙芒硝的力学性质均在较大程度上优于泥岩,白云岩的力学性质均在较大程度上优于石膏、钙芒硝岩。提交岩土物理力学指标基于现状与偏安全因素考虑,含膏(钙芒硝盐)泥岩、含膏(钙芒硝盐)砂岩宜对其物理力学指标平均值进行折减取值或按泥(或砂)岩指标提交,泥(或砂)质膏岩、泥(或砂)质钙芒硝岩宜对物理力学指标平均值进行折减取值;混有其他碎屑矿物则区别对待,如白云质膏岩按膏岩提交物理力学指标。泥岩中透镜体状、薄层状夹层及条带状膏岩、钙芒硝岩往往分布复杂、岩层较薄,可不单独提交物理力学性质指标,结合上下岩层统一提交物理力学指标,这样可减少工作量且偏安全。

含石膏、钙芒硝盐红层在动水作用下发生水岩作用,石膏钙芒硝盐产生溶蚀现象,此时勘察工作重心则应为查明含石膏、钙芒硝盐红层的溶蚀状况,如溶坑、溶蚀孔洞的分布范围、规模,孔洞大小等,根据实际情况进行处理并综合进行评价。在勘察阶段,有的工程经钻探和试验,认为干旱地区或储水条件差,地下水埋藏很深、岩层渗透性极差,提出“无渗水地段则按无侵蚀性处理”。但实际情况可能不同,因隧道或基础开挖后形成集水空间,使原来水文地质条件发生变化,基岩裂隙水流向新形成的廊道,使得隧道内或基础出现渗、滴水。一般工程内地下水的侵蚀性股流水比滴水弱、滴水又比渗水弱、一点点慢慢渗透的侵蚀性极强。所以含膏盐地层基础都应按具有侵蚀性考虑,从这也可解释为什么勘察阶段作

的水样分析,水的腐蚀性不及施工中渗水的腐蚀性高的原因。在含膏盐地层中进行的工程,应坚持要求在施工期间进行水质复查。

基于成都红层的特性,静水环境中较少发生溶蚀,即使发生往往发育的规模也较小,但勘察过程中,环境水一般根据传统采取钻孔水进行检测化验,易受上层环境水混入影响,测出的腐蚀性指标一般偏低,不利于工程安全,应结合岩块浸泡试验及场地条件综合确定腐蚀性。对地表径流入渗及地下水顺层运移过程产生溶蚀,溶蚀空洞、充填型溶洞等溶蚀现象,则应高度重视,由于受环境水不断的溶蚀作用,这类溶蚀往往规模较大,溶蚀严重,环境水条件复杂,硫酸盐腐蚀性强,腐蚀影响范围大,加之红层泥岩具有遇水软化及崩解,溶蚀空洞会进一步扩大,导致岩体结构失稳,对地下工程建设影响大。为此必须进行专门的水文地质勘查工作,重点查明地下水的补给与排泄途径,环境水水文地球化学特征等。

## 4 结论

通过资料收集整理及专门研究,不难看出:

(1) 红层泥岩、砂岩、石膏与钙芒硝岩均属软岩;石膏、钙芒硝岩的力学性质均在较大程度上优于泥岩。白云岩的力学性质均在较大程度上优于石膏、钙芒硝岩。红层中泥岩、砂岩、石膏与钙芒硝岩物理力学性质指标均有较大的离散性,这与其物质成分的复杂性相关。石膏样品浸水前期随时间延长饱和抗压强度明显地下降,当浸水半年以上强度基本不再下降;膏岩含量、水化率与单轴抗压强度无统一规律可循。

(2) 成都红层中地下水主要为静水状态,局部为动水状态;无论静水状态或动水状态均会产生一定程度的溶蚀作用。

(3) 工程中宜按含膏(钙芒硝盐)泥岩、含膏(钙芒硝盐)砂岩、泥(或砂)质石膏岩、泥(或砂)质钙芒硝岩等大类进行分类。提交岩土物理力学指标基于现状与偏安全因素考虑,含膏(钙芒硝盐)泥岩、含膏(钙芒硝盐)砂岩宜对其物理力学指标平均值进行折减取值或按泥(或砂)岩指标提交,泥(或砂)质石膏岩、泥(或砂)质钙芒硝岩宜对物理力学指标平均值进行折减取值;混有其他碎屑矿物则区别对待,如白云质膏岩按膏岩提交物理力学指标。泥岩中透镜体状、

薄层状夹层及条带状膏岩、钙芒硝岩往往分布复杂、岩层较薄,可不单独提交物理力学性质指标,结合上下岩层统一提交物理力学指标,这样可减少工作量且偏安全。

(4) 在含膏盐地层中进行的工程,应坚持要求在施工期间进行水质复查。必要时进行专门的水文地质勘查工作,重点查明地下水的补给与排泄途径,环境水水文地球化学特征等。

## 参考文献

- [1] 韩浩东,王春山,等.成都市白垩系灌口组富膏盐红层溶蚀特征与机理[J].中国岩溶,2021,40(5):768-782.
- [2] 郭麒麟,张正清,等.成都市新津拦河闸石膏层分布溶蚀特点及对工程的影响[J].资源环境与工程,2012,26(5):440-443.
- [3] 王晖.成都市地下空间利用中含膏岩层的分布及地质环境效应研究[D].西南交通大学研究生学位论文,2022.5.
- [4] 李科学,阳凌峰,王新荣.成都市南部含泥质石膏岩地层工程地质特性的认识[J].四川建筑,2012,32(6):77-78.
- [5] 苏培东,廖宸宇,等.成都市城市地下空间开发中的环境工程地质问题[J].山地学报,2020,38(6):861-872.
- [6] 王维,徐梦心,李晓.成都市区地下水水质变化特征[J].地质灾害与环境保护,2015,26(3):77-81.
- [7] 邱恩喜,康景文,等.成都地区含膏红层软岩溶蚀特性研究[J].岩土力学,2015,36(增刊):274-280.
- [8] 徐文斌.成都天府新区灌口组芒硝/石膏溶蚀规律研究[D].成都理工大学硕士学位论文,2020.6.
- [9] 盘惠林.成都地区膏岩溶蚀及对地下建筑物混凝土基础的影响[D].吉林大学硕士学位论文,2022.5.
- [10] 邓建华,黄醒春,彭结兵,等.膏溶角砾岩不同天然含水率情况下力学特性的试验研究[J].岩土工程学报,2008,30(8):1203-1207.
- [11] 邓高岭.礼让隧道石膏质围岩软化机理及模型研究[D].重庆大学硕士学位论文,2015.10.
- [12] 祝艳波,吴银亮,余宏明.隧道石膏质围岩强度特性试验研究[J].长江科学院院报,2013,30(09):53-58.
- [13] 俞凌杰,张文涛,范明,等.膏岩三轴压缩试验及高温相变特性研究[J].岩土力学,2012,33(11):3318-3323.
- [14] 张爱民,胡毅夫,刘泉.石膏矿岩的软化特征分析[A].湖南省科协.2007年湖南科技论坛论文集[C].湖南人民出版社,2007.
- [15] 中电建路桥集团有限公司梁忠高速公路总承包部.石膏地层公路隧道建设关键技术研究成果报告[R].2017.2.
- [16] 徐素国,梁卫国,赵阳升.钙芒硝盐岩物理力学特性研究[J].地下空间与工程学报,2007,3(6):1054-1059.
- [17] 工程地质手册编委会.工程地质手册(第三版)[M].中国建筑工业出版社,1992.2.
- [18] 刘宇,郑立宁,等.成都天府新区含膏红层主要工程地质问题分析[J].四川建筑科学研究,2013,39(5):155-159.