

编者按 1994年本刊第一期刊登了雷明信同志《关于确定地下水活动下限问题的初步探讨》一文，并加了编者按。编辑部收到了参加学术讨论的一些论文，现发表成都理工学院贾疏源同志《关于确定地下水活动下限问题讨论的几点意见》，今后还将选择有代表性的学术论文予以发表。贾疏源同志在文中建议：希望能将有关的讨论内容进一步展开，例如，关于核废料处置场的选址原则、建场研究等等。我们同意贾疏源同志的建议，上述内容可一并展开讨论。

关于确定地下水活动下限问题讨论 的 几 点 意 见

成都理工学院 贾疏源

【摘要】 笔者根据水文地质教学、科研实践及体会，结合龙门山勘察场地的水文地质特征，就确定地下水活动下限问题及其与核废料永久处置场选址的关系提出了六点看法及意见。1. 讨论地下水活动下限，回避不了地下水成因问题；2. 不同的水文地质条件下，地下水活动下限的发育特征不同；3. 地下水活动下限是变化的；4. 关于地下水活动下限的确定；5. 龙门山勘察场地确定的地下水活动下限尚待商榷；6. 关于核废料处置场的水文地质选址原则。

【Abstract】 The relationship between determining lower limit of groundwater activities and sitting permanent depositing nuclear waste material is discussed in this article. These views are based on the experience of teaching and scientific research and analysing hydrogeological features of exploration site in Long Men Mountains, which includes following contents, (1) Lower limit of groundwater activities involved in groundwater formation; (2) Different features of lower limit of groundwater activities in different hydrogeological conditions; (3) Change of lower limit of groundwater activities; (4) Determination of lower limit of groundwater activities; (5) Discussing the lower limit of groundwater activities of exploration site in Long Men Mountains; (6) The hydrogeologic principles of sitting permanent depositing nuclear waste material.

《军工勘察》一九九四年第一期刊登了雷明信同志《关于确定地下水活动下限问题的初步探讨》一文，并加了编者按“关于确定地下水活动下限的标准问题，在理论上具有重要意义、在实践上有重要价值，如核废料深

地层处理问题等等……”，希望有关地质工作者积极参加这场学术讨论。笔者从事水文地质的教学和科研，经常遇到与地下水活动下限有关的问题。现将有关想法和认识，归纳如下意见，参与讨论。

影响又是长期对石窟雕像振动破坏的重要因素，它加速了石窟的破坏进程，振动的速度最大达 $3\mu\text{m/s}$ 。对于一个先进的文明国家来说，工业的发展是要考虑自然保护区特别是文物保护的，两者必须结合起来综合考虑。

从以上分析来看，对龙门石窟区的国宝应采取以下措施：

(1) 应对石雕佛像及早进行加固，充填裂隙，减小水平振动的影响，在石窟外围采用排水办法减缓风化速度。

(2) 对道路交通采取限制流量逐步外迁

的办法，使振动加速度衰减到最小程度。

(3) 对游人采取按小时控制流量的办法进行限制，以最大限度地减小游人活动带来的振动影响。

(4) 石窟附近一定范围内禁止石灰岩的开采和工业发展，以免除各种振动和物理化学因素引起的破坏作用。

总之国民经济建设应从国家综合发展战略上来考虑，应采取一切措施保护国家的重点文物。只有这样，中国人民的子孙后代才能看到我国古代的辉煌文化。

一、讨论地下水活动下限，回避不了地下水成因问题

水圈地下部分称为地下水圈。地下水不仅以固、气、液三态赋存在岩石的空隙中，而且还被组成岩石的颗粒所吸附，或者成为矿物的组分，以结晶水及结构水的状态而存在。不同赋存状态的地下水可以相互转化。但是在这些赋存状态中以自由水的活动性最强，并且成为通常所指的狭义的地下水。

按起源，还可以把地下水分为渗入、沉积和初生三大类，而地下水的成因可理解为地下水的起源及其赋存状态的转化两个方面。同时考虑到当前学科发展水平，关于地下水的成因类型，可归纳为：渗入、沉积及岩浆—变质主要三类。因此，如果笼统地问：地下水的下限在哪里？首先就必须明确是指何种成因类型的地下水。否则，回答也是笼统的：就是地壳或岩石圈的下限。显然，这对于确定地下水活动的下限没有实际意义。

不同成因类型的地下水有一定的活动范围，渗入成因水主要在地壳浅表部的风化壳或松散沉积层内；沉积成因水多在沉积岩石圈内；岩浆—变质成因水主要在地壳较深部的结晶岩中。当然它们也可以相互穿插到其它地壳层圈中，并发生混合。为了实现地下深部核废料的永久处置，首先，对三种成因地下水活动的可能影响范围都必须考虑，而永久处置场以设置在可以避开这三种成因水活动的地带最为理想。现在讨论中提及到的地下水活动下限，虽然主要是指渗入成因水，但是决不能回避对其它成因地下水的注意。即使确定了渗入成因水活动的下限，倘若尚未查清沉积水和岩浆—变质水活动的特征，不等于不会有其它成因地下水的活动，而危及设置在该下限以下的“永久处置场”的安全。

二、不同的水文地质条件下地下水活动下限的发育特征不同

根据水文地质原理，渗入成因水向地下深部活动的动力来自于补给区与排泄区分布

高程的差异，而影响其在地下深部活动的因素主要有二：其一是，岩体是否透水；其二是，若透水，则与地下水循环途径的长短有关。地下水循环深度愈大，必然循环途径愈长，当循环途径增长到某种程度，地下水的运动变得十分缓慢，以至于在该循环深度下的地下水近于停滞。于是地下水活动的最大深度主要受到透水条件和循环条件的限制，笔者暂将该深度分别称为隔水下限和循环下限，并支持雷明信同志对地下水活动下限含义所作的解释。一般来说，地下水活动下限是地下水活动的最大深度。在这个深度以上，有地下水，而且是活动的；在这个深度以下，存在两种情况，一是无地下水（自由水），二是有地下水（自由水），但不是活动的，是“死水一潭”。但是，在水文地质条件不同的条件下，如对于含水介质不同的孔隙水、裂隙水和岩溶水，其隔水下限或循环下限的发育特征和深度不同，且确定方法也有差异。

1. 孔隙水主要埋藏于孔隙发育的坚硬或松散的地层之中，构成含水层。通常有隔水层和这些含水层相伴，以至间互产出，故还可进一步区分为潜水及层间水含水层。通常认为隔水层中地下水的活动是极为微弱而不透水的，在含水层和隔水层间互产出的情况下，隔水层的顶板即可视为上覆含水层中地下水活动的隔水下限。对于整个含水岩系，可把最下部含水层的底板视为地下水活动的隔水下限。对于巨厚的孔隙含水层，地下水活动强烈带往往集中在上部，愈往深部活动性减弱，甚至处于相对停滞状态，显然地下水循环下限应确定在相对停滞之上部。

2. 对于裂隙水，主要包括风化裂隙水和构造裂隙水两类，埋藏于坚硬基岩的风化裂隙带和构造破碎带中。风化裂隙带发育的一般规律是，由地表往地下深部裂隙发育强度不断减弱，并过渡到尚未风化的完整基岩。因此，一般说来，风化裂隙水的下限是不难确定的，即：风化裂隙带的下限。未风化的隔

水基岩顶部,相当于隔水下限。但是,构造破碎带伴随于褶皱和断裂等构造的一定部位而发育,而且,裂隙张开、闭合程度,在基岩中的展布方向,相互组合特征及疏密程度都是不均匀的,于是构造裂隙水的活动也是不均一的。如若构造裂隙的发育受地层控制,并间夹在裂隙极不发育的地层中,则下伏裂隙不发育的隔层成为地下水活动的下限。但是,在近于垂直方向产出的构造裂隙带中,地下水循环下限的确定比较困难。

通常,风化裂隙与构造裂隙的发育有密切的关系。构造裂隙的发育控制风化裂隙的发育,风化作用可以改造构造裂隙并扩大其张开程度,于是在构造裂隙发育的地区给风化裂隙水活动下限的确定也带来困难。构造裂隙还可能切割孔隙含水岩系,破坏孔隙含水层的完整性,使孔隙水的活动趋于复杂化。构造裂隙往往还可能成为沟通沉积水和岩浆—变质水活动的通道并与渗入水混合,进而使渗入水活动的下限根本无法确定。

3.岩溶水赋藏于可溶岩层或岩体之中,其孔、缝、洞溶蚀空间的发育除受岩性影响外,还受构造的影响。因此,岩溶储水、导水空间发育的不均一特点,较之裂隙水更为突出。虽然对于间互状产出的可溶岩一般可以将其产出的下限作为岩溶水活动的隔水下限,但对于巨厚或受断裂破坏的可溶岩,岩溶水的循环深度是很难查清的。特别值得指出的是,地下深部还存在着复杂的深部岩溶发育的问题。深岩溶的发育除与构造等因素有关,在四川盆地的深部阳新灰岩研究中,有人提出“串通型”岩溶的概念,即,深部古岩溶或深成岩溶(如沉积成因水岩溶和深部热水岩溶)被现代渗入成因岩溶水活动所串通而形成的岩溶。

综上所述,在不同的地区,因含水介质特征的不同,地下水活动的下限的确定方法不同。即使在同一个地区,可以因不同含水岩体的复杂结构而使水文地质条件变得极为复

杂,进而使地下水活动下限的确定变得极为困难。在这样的地区,只有在深入研究地质—水文地质条件的基础上,针对具体的水文地质特征,选择具体的方法确定地下水活动的下限,若不详细地讨论地质及水文地质条件,单纯地凭少量或某种标志,就确定其下限几乎是不可能的。

三、地下水活动下限是变化的

在同一地区不同的地史演化阶段,地下水活动的下限是变化的。研究现代地下水活动的下限应注意与地质历史时期地下水活动的下限相区别。

地下水活动必然遗留水—岩相互作用的形迹,于是通过对地下水活动行迹的研究是获得地下水活动下限鉴别标志的重要途径。但是,岩石中存在的地下水活动行迹可以是现代地下水,亦可能是地史期地下水作用的结果。于是,区分这些行迹形成时代的先后,不仅对于确定现代地下水的活动下限,而且对于确定地下水活动下限随地质条件的变化而演化的特征均具有特别重要的意义。

以川南地区的阳新灰岩岩溶水为例,早二迭世碳酸盐的沉积阶段,因沉积层短暂暴露地表而接受渗入水、发育岩溶,一般发育深度可达30m。但这些岩溶形迹依附于一定层位,常常间夹于阳新灰岩中,并多次重复出现。早二迭世—晚二迭世,阳新灰岩古风化壳发育阶段,岩溶发育深度可达100余米。晚二迭世沉积以来至今,在地下深埋条件下,还发育有储集天然气的深部缝洞系统岩溶,属于沉积成因水的产物。喜山运动以来,因构造变动和风化剥蚀,致使部分地区阳新灰岩暴露地表,并接受渗入成因水而发育现代岩溶。岩溶水活动的下限随着构造运动的间歇性抬升而不断加深,同时,串通型岩溶也相应发育。于是,如何把各类古岩溶现象与现代岩溶现象相区别,成为确定现代岩溶发育下限极重要的问题,否则,把各类古岩溶形迹与之混淆,就根本无法确定现代

岩溶地下水活动的下限。

对于孔隙水和裂隙水活动下限的确定,也存在区分现代和古代地下水活动形迹的问题。实际上,鉴别不同地史阶段地下水活动形迹分布的特点,阐明地下水活动下限变化的规律也是核废料永久处置场地选择论证不可缺少的重要依据。

另外,自有人类活动以来,特别是科技和工程建设活动发达的当今,对自然环境的改造有相当强的能力,如大型水坝的修建,区域地下水的开发,以及核废料处置场建设本身都可以影响到地下水活动位置的进一步变化。在研究一个区域地下水活动下限的变化时不应该忽视这一点。

四、关于地下水活动下限的确定

由于渗入成因地下水活动引起的隔水下限或循环下限总是存在于地下深部,而无法直接被观察到,为了确定该下限位置,只有通过间接的方法。概括起来,其鉴别标志可分为以下主要三类:

1.深部岩心研究。通过对岩心水理性质、岩石、矿物、地球化学的研究,以确定含水层和隔水层的埋藏分布位置,注意对岩心中孔、缝、洞的发育及其充填特征的研究,以查明空隙介质形成演化的规律。进一步依据水-岩相互作用原理对地下水活动行迹研究,以阐明地下水形成过程及活动特征。

2.地下水的研究。通过水文地质试验及水样的分析化验,以判断地下深部地下水的成因、年代、地下水活动或“死水一潭”地段所在的位置。

3.水文物探。通过各种物探手段以获得关于含水体系发育下限的信息。

最后结合该区域水文地质及古水文地质特征的研究,有效地综合这些资料,并得到统一的解释,便有可能比较准确地确定地下水活动下限,甚至于进一步综合其它相关资料,预测其变化规律。这样确定的地下水活动下限,无疑可作为选择“永久处理场”的依据。

以现有资料看,在讨论中似乎比较重视抽水 and 压水试验资料。笔者认为获得这些资料是必要的,但是要应用得当。因为这些资料只能证明实验段一定范围内是否含水、导水及其能力如何。它仅能作为确定地下水活动下限的参考标志,而不能作为直接依据。笔者特别不赞成在对地质-水文地质条件缺乏深入研究的基础上,以 $\omega < 0.01L/min \cdot m \cdot m$ 作为地下水活动下限的标准。比如在岩溶区暗河管道分布的高程范围内也存在尚未岩溶化的地段;在松散堆积层内可存在巨大的漂砾;在断层或裂隙带发育的岩体中保存有完整的岩块,它们都可以既不含水,也不透水。如若在这些局部岩体内进行水文地质试验,获得这样的数据不是不可能的。另外,在地下水循环带以下,也可能出现含水、导水岩体的。之所以存在“死水一潭”的现象,仅因在天然状态下,这里的地下水缺乏运动条件。一旦人为搅动,如抽水或压水,则将发生运动,而实验测定值出现单位吸水量 $\omega > 0.01L/min \cdot m \cdot m$ 的情况也是可能的。

五、初步在龙门山勘察场地确定的地下水活动下限尚待商榷

龙门山地区毗连青藏高原,受喜山运动影响强烈,近年1:5万的地质填图发现前山带有一系列的推覆构造发育。据研究资料,在勘察场地,地层褶皱倒转,倾向北西,倾角 $25^\circ \sim 72^\circ$ 。区域发育高角度的冲断层,构造线走向北东-南西。在场地西边还有两条近于南北方向延伸的正断层通过,断层西倾,倾角 $45^\circ \sim 50^\circ$,破碎带胶结松散。勘察场地基岩为志留系页岩,西部分布灰岩地层(根据资料判断可能属正断层上盘的泥盆、石炭系)。志留系页岩富含裂隙水具承压性,可以进一步分为低承压水(埋深15.04—187.00m)和高承压水(埋深229.05m以上)两段。低承压水段透水性能与岩石的风化程度相关,随着深度增加而减弱,承压水水头一般高于上复松散层孔隙潜水,达1.04

~2.64m。降雨后水位上升的滞后时间超过24h,矿化度0.637~0.821g/l,表明具风化裂隙水特征。高承压水段,含基岩裂隙水,揭露时自喷地表,经过一年多的自流,承压水头仍高出地表4m多,自流量0.025l/s,水温18℃,已基本趋于稳定。构造裂隙发育分布不均一,且不存在随深度有规律变化的关系。矿化度0.851~1.368g/l。据胡海涛等有关专家推测,承压水的补给可能来自场地的西部山区,补给区高度在800~950m之间。

在本勘察区,如果以岩层渗透性分级,取单位吸水量(ω)小于0.01L/min·m·m属极弱渗透岩层,而以此作为确定地下水活动下限的主要标准,并“综合确定”为300m,似为不妥。值得商榷的理由有如下几条:

1.据压水试验结果,ZK4—0孔试验深度从76.58~149.97m,分7段,ZK4—01孔从160.59~480.02m,共分18段,两孔平面上相距2.16m。 $\omega > 0.01\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ 的试验段仅出现在ZK4—0孔的压1、压2及压6段,压6段深达139.88m。若以岩层单位吸水量小于0.01L/min·m·m为标准,确定地下水活动下限的位置应在140m处,而不应该确定为300m。既然最终确定300m为其下限是“综合确定”的结果,则 $\omega < 0.01\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ 标准就丧失了“标准”的意义。

深度140m处于风化裂隙带,属低压承压水段,证明所列压水试验值对风化裂隙水活动下限的确定有一定参考意义,但显然不能用 ω 值判断更深部的构造裂隙高压承压水活动的位置,因而出现极为勉强的“综合确定”的方法。

2.但是,本区是否适宜于“永久处理场”建立的要害问题,正是能否避开高压承压水活动的影响。以前施工的钻孔均未钻遇高压承压水,高压承压水是因近来的补充勘探才得以发现。由于构造裂隙发育的复杂性并与随深度的变化无关,如若今后进一步勘探,是否还会发现埋藏更深的高压承压水,无

法定论。区域构造特征表明,志留系页岩构造裂隙的发育不限于在300m以上;ZK4—01孔压水试验资料表明,压16、17段(390.6~412.56m)的 ω 值高出压11段(189.50~198.95m)、压14—压15段(218.77~317.62m)及压18(470.58~480.02m)之值数倍至一个数量级以上。NaCl扩散法测井,在296.0m、360.0m及424.3m仍能发现有扩散现象发生。总之,表明300m左右不存在可供区分是否有高压承压水活动的鲜明界线。229.05m揭露的高压承压水一年余,水温、水量及水头已趋稳定,表明在这里揭露了含水介质连通性较好,补给范围较广的含水系。但很难说该含水系活动的下界就在300m左右。高压出水段以下的299.70m处还发现有被方解石胶结的断层破碎带,沿方解石脉溶孔、溶槽发育,表明该处的水交替比较强烈,甚至于对碳酸盐也是不饱和的。于是可以发现,对于本区299.70m以上地下水化学组分及气体组分变化的差异性,包括显示还原环境的水流的存在,都不是确定地下水活动下限的直接标志,并且也完全可以用裂隙含水系统发育的不均一性加以解释。至于299.70m深度以下、同样可以用裂隙含水系统的不均一性加以推测:不仅在300m以下,甚至于400余米或者上千米深度内仍可能发现高压裂隙水的活动,又未尝不可。

由此可见,按现已发现的高压承压水活动及溶蚀现象发育等标志所综合确定的地下水300m为地下水活动下限,其依据也是不足的。

3.场地西侧,正断层发育,石灰岩出露,石灰岩溶蚀较为强烈,特别是北北西及北北东方向的裂隙,透水性良好。值得注意的是地下水补给来自勘察场地的西方,途经该断层破碎带,于是导致其岩溶发育,并储集地下水。这一含水带的存在,无疑威胁着未来的“永久处置”场。在尚未查清该岩溶—裂隙水含水带特征以前,完全可以推测,其地下水活动下限还在300m以下,并补给“勘察场

地”而形成高压水层。场地内破碎带被方解石胶结,并又被溶蚀,表明来自西侧石灰岩分布带的地下水,不仅可以进入勘探场地,而且自方解石胶结以来活动变得愈益强烈(沉淀方解石时的水交替强度弱于溶蚀方解石时的水交替强度)。当然,这样的推测有待进一步研究、证实。值得借鉴的是:在地质及地貌条件相类似的四川盆地西缘某地,因水电建设施工长隧洞,隧洞距地表埋深达1700余米处还发生严重突水,现突水点稳定流量达 $1.5\text{m}^3/\text{s}$ 左右,因此,对于龙门山勘探场地的水文地质问题以及地下水活动下限的确定,决不能掉以轻心。

六、关于核废料永久处置场的水文地质选址原则

《军工勘察》编辑部1994.3.20发出通知,望能对确定地下水活动下限的标准展开学术讨论。其目的是明显的:为核废料永久处置场的选址提供科学的依据,并建立某种标准。笔者赞成这次讨论,更希望能将有关的讨论内容进一步展开。关于核废料永久处置场的研究,在我国尚处于起步阶段,在水文地质方面不宜急于建立某种统一的标准。

(上接第40页)

面外侧土体沿剪切面向下移动,这也是影响范围外土体产生一定程度的下降和向压桩区位移的原因。

四、防范方案选择

在密集群桩施工时,距沉桩距离为桩穿越深厚饱和软粘土层厚度范围内的土体变形是显著的,应予以重视。从以上对土体变形的机理的分析,为我们选择防范方案提供一定的理论依据。在选择防范方案时,应考虑下列几方面。1.减少沉桩过程的挤土影响和超孔隙水压力的产生;2.促使超孔隙水压力消散、减少超孔隙水压力的积累;3.阻止变形的扩展;4.加强挤压应力的释放。此外,尚应加强变形监测。

反之,当务之急应该是讨论选址的原则。

龙门山选址虽然进入勘察阶段,但是勘察结果表明对于永久性处置场的选址是失败的,至少,目前还难于得出可靠的结论。其实,在广阔的中国大地,如果在一定的选址原则指导下进行选址,再行勘探,也许可以找到比其优越得多的场址。这次选址失败的教训就在于选址原则不明,过急地进入了勘探。

根据龙门山选址的教训和以上有关讨论,笔者认为,从水文地质角度对于选址应该注意的几个原则是:

- 1.在区域上应避开构造发育带,特别是新构造变动强烈的地带。
- 2.气候相对干燥,地势平缓,地下水循环交替条件较差的地区。
- 3.以寻找较大规模的干岩体或干岩层为处理场址的勘探对象,而并不限于以必须处于某地下水活动带以下为条件。即是说,在某地下水活动带内的干岩体或干岩层,未必不可以作为处置场地。
- 4.人为活动相对较少的地区。
- 5.即使存在某些水文地质问题或环境问题,而便于处理的地段。

本文的编写仍以定性分析为主,要想对饱和软粘土地区压桩施工的环境效应问题作出定量评估,无疑是很困难的事。但是,使之形成一套预测分析系统无疑是值得广大科技人员研究的重要课题。

参 考 文 献

- 1 樊良本.关于打桩引起的土体位移及土中应力状态变化的探讨.同济大学
- 2 石洪宝.饱和软粘性土地区静力压桩桩周土体变形机理探讨.军工勘察,1992.3
- 3 薛禹群.地下水动力学原理.地质出版社,1986
- 4 施鸣升.沉入粘性土中桩的挤土效应探讨.桩基工程学讨论会论文集,1981
- 5 上海市标准:地基基础设计规范(DBJ08-11-89)