

山东省工业废液地下储存地质条件研究

——以鲁西北地区为例

刘咏明^{1,2}, 崔圆圆¹, 邵震^{1,3}

(1.山东省地矿工程集团有限公司, 山东 济南 250014; 2.山东省地质测绘院, 山东 济南 250013; 3.山东省地质探矿机械厂, 山东 济南 250014)

摘要:地下灌注技术为我国工业废水的排放开辟了一条新的路径,大大缓解了地表环境压力。地下灌注技术对地质条件要求较高,在实施之前需要进行严格的地质环境条件调查,以确保地下灌注安全有效。该文以鲁西北地区为研究区域,深入分析了区域地质条件,选定了灌注地址,建立了地下储存空间概念模型,确定了储存空间,并对研究区域地质环境影响进行了分析,为鲁西北地区工业废液地下储存提供了科学依据。

关键词:工业废液;地下灌注;地质条件;储存空间;鲁西北

中图分类号:X703.1

文献标识码:B

引文格式:刘咏明,崔圆圆,邵震.山东省工业废液地下储存地质条件研究——以鲁西北地区为例[J].山东国土资源,2016,32(2):55-59.LIU Yongming, CUI Yuanyuan, SHAO Zhen.Study on Underground Storage Geological Conditions of Industrial Waste Water in Shandong Province——Setting Northwest Area in Shandong Province as an Example[J].Shandong Land and Resources,2016,32(2):55-59.

0 引言

工业废水是指工业生产过程中产生的废水、污水和废液,其中含有随水流失的工业生产用料、中间产物和产品以及生产过程中产生的污染物。目前,污水排放方式大多是根据不同的污水类型采用不同的污水处理办法进行处理,达到排放标准后,或回收利用或排入河。然而河流、湖泊容纳污染物的容量是有限的,就山东省而言,2013年全省工业废水排放量为181 179万t,其中鲁西北地区排放量为105 026万t,占全省总排放量的58%以上^[1]。这么大的排放量排放于地表占用的环境容量太大,对环境污染非常严重,要求寻求新的工业废水排放方式,来解决生态环境恶化问题。地下储存(灌注)技术能为工业废水的储存开辟容量巨大的地下空间,解决地面储存空间有限的问题,缓解地面环境压力。

地下储存技术始于1930年,美国在这方面有较为完善的技术、法律法规和管理条例,为地下储存技

术的实施提供了有力的保障^[2]。在国内,地下储存尚无成熟的技术和完善的法律法规,但在某些领域已做了一些有益尝试,为我国的地下储存技术的成熟和制度的完善,提供了强有力的前提保证^[3]。地下灌注技术对地质环境条件的要求很高,要对地质环境进行深入细致的研究,该文以山东省西北地区为研究对象,在搜集大量地质资料的基础上,选定灌注地址,建立地下储存空间概念模型,确定储存空间,进而深入分析鲁西北地区的工业废水地下储存地质环境条件。

1 研究区域及区域地质构造

研究区域为鲁西北地区,西南自东明县西南与河南省交界线,东北至东营市海岸线,东南边界为西段沿G220国道至斑鸠店,中段斑鸠店以东以黄河为边界至济南,东段沿胶济线至潍坊市的东边界,西北至山东省的西北边界,区域面积约48 155 km²(图1)。山东区块属于2个一级大地构造单元,即华北

收稿日期:2015-05-11;修订日期:2015-07-01;编辑:曹丽丽

作者简介:刘咏明(1983—),男,山东泰安人,工程师,主要从事水工环地质方面的工作和研究;E-mail:lymdreamer@163.com

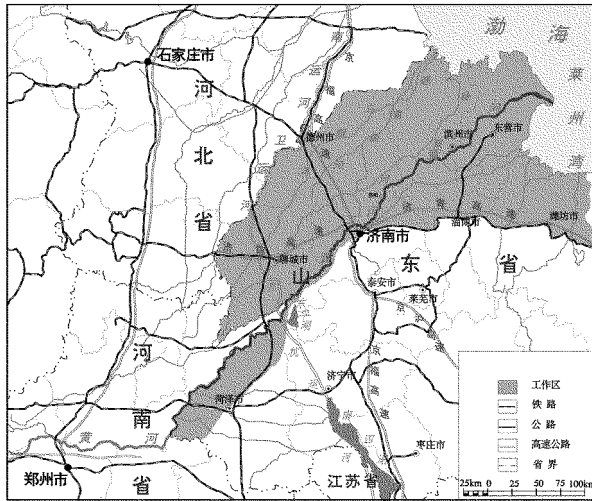


图 1 研究区位置图

陆块和苏鲁造山带。4 个二级大地构造单元自西向东划分为华北拗陷、鲁西隆起、鲁东隆起、胶南-威海隆起。三级构造单元全省共划分为 7 个,分别是临清拗陷区、济阳拗陷区、鲁西南潜隆起区、鲁中隆起区、沂沭断裂带、胶北隆起区、胶莱拗陷区、威海隆起区、胶南隆起区。另外还可细分为四级、五级构造

单元。其中鲁西北地区Ⅲ级构造主要有济阳拗陷、临清拗陷、鲁西南潜隆起区、鲁中隆起区和沂沭断裂带。Ⅳ级构造主要有东营潜断陷、沾化-车镇潜断陷、惠民潜断陷, 东明-莘县潜断陷、德州潜断陷等^[4]。详见图 2 和表 1。

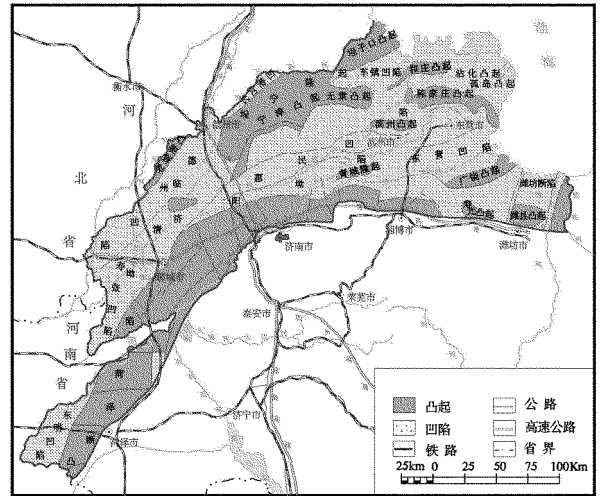


图 2 研究区域构造略图

表 1 鲁西北地区构造单元划分

I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
华北陆块	华北拗陷 I	济阳拗陷区 I _a	埕子口-宁津潜断陷 I _{a1}	埕子口凸起(潜) I _{a1} ¹ 、无棣凸起(潜) I _{a1} ² 、长官凹陷(潜) I _{a1} ³ 、宁津凸起(潜) I _{a1} ⁴
			沾化-车镇潜断陷 I _{a2}	车镇凹陷(潜) I _{a2} ¹ 、沾化凹陷(潜) I _{a2} ² 、义和庄凸起(潜) I _{a2} ³ 、青坨凸起(潜) I _{a2} ⁶ 、滨州凸起(潜) I _{a2} ⁷ 、陈庄凸起(潜) I _{a2} ⁸
			惠民潜断陷 I _{a3}	临邑凹陷(潜) I _{a3} ¹ 、惠民凹陷(潜) I _{a3} ² 、高青凸起(潜) I _{a3} ³ 、东营潜断陷 I _{a4}
			东营凹陷(潜) I _{a4} ¹	广饶凸起(潜) I _{a4} ² 、博兴凹陷(潜) I _{a4} ⁴ 、寿光凸起(潜) I _{a4} ⁶ 、昌乐凹陷(潜) I _{a4} ⁷ 、潍北凹陷(潜) I _{a4} ⁹
	临清拗陷区 I _b	东明-莘县潜断陷 I _{b1}	莘县凹陷(潜) I _{b1} ¹ 、东明凹陷(潜) I _{b1} ² 、高唐潜断陷 I _{b2}	
		高唐凸起(潜) I _{b2} ¹	贾镇凹陷(潜) I _{b2} ²	
		德州潜断陷 I _{b3}	德州凹陷(潜) I _{b3} ¹	
	鲁西隆起 II	鲁中隆起区 II _a	泰山-沂山断陷 II _{a1}	齐河凸起(潜) II _{a1} ¹ 、阳谷凸起 II _{a1} ⁹
			菏泽-兖州潜断陷 II _{b1}	菏泽凸起(潜) II _{b1} ¹
			沂沭断裂带 II _c	寒亭凸起 II _{c1} ¹ 、坊子凹陷 II _{c1} ²

2 地下储存地址以及各地质分层的地质要求

2.1 地下储存地址的地质要求

废液地下储存地质选址的首要条件就是要选择能够储存并且长期保存废液,在可预测的年限内不能危害到人类的生存环境和可利用的自然资源的地

下空间。其应满足以下条件:①要相对封闭,最好处于相对独立的凹陷或构造盆地,阻止废液大面积的无限扩散;②要具有一定的储存空间,即具有较大孔隙度能容纳且能注入废液的地质体;③储存层上下要有连续的渗透性微弱的封盖层,防止废液上下串层;④要深埋地下,远离地下饮用水源,在预期的时间内不会被利用或扰动;⑤要有一定的地质稳定性,

即区域地壳相对稳定,储存区断裂构造不发育,有利于废液的储存^[3]。

2.2 各地质层面的地质要求

地下灌注对地层构造的要求非常严格,需要有 3 层,分别为储存层、隔离层和缓冲层^[5]。

(1) 储存层的选择对于地下灌注技术起着至关重要的作用,关系到地下灌注的成败,因此对储存层的地质要求非常高,需满足以下几个条件:①要有足够的渗透性、孔隙度、均质性和厚度,以便储存液以拟定灌注速率进入该地层,岩层渗透率一般不低于 1 mD;②储存层应足够大,砂层厚度一般需大于 50 m(同时视灌注量而定),避免压力积累和已储存的液体达到含水层的补给区;③在储存层上、下应有一个渗透率很低的隔离层,一般渗透率不大于 10~5 mD,厚度一般不小于 35 m(同时视灌注压力而定),避免储存液发生垂向迁移;④储存区地层不具有经济价值;⑤储存液与储存井的材质、储存区中的岩石及其流体性质相容,不发生化学反应;⑥储存层和隔离层中不存在垂向的导流裂隙或断层。

(2) 在储存层的上下要有透水率很低的隔离层,从而起到隔离和封闭的作用。对其要求首先是渗透性能差,能够阻止废液垂向通过该层而进入非灌注层;其次必须在灌注影响范围内是完整的,没有缺失或天窗存在;再次必须具有一定的厚度,能够抵抗超过灌注压力,在灌注压力影响下,隔离层不会破裂。

(3) 在储存层和隔离层的上部应布置一层缓冲层,使其起到一定的缓冲作用。缓冲层须具有较大的孔隙度,较强的渗透性能,较大的容纳空间。在极端情况下,隔离层破裂,废液上涌,涌至缓冲层时,缓冲层能改变废液流动方向,使其在缓冲层中水平扩散,不再垂向越流,进入上部地层,影响地下淡水资源(图 2)。

3 地下储存空间概念模型

根据上述地质要求和分幅 1:5 万区域地质图、山东省第四系、山东矿床、山东省大地构造格局和地质构造演化、石油钻井等地质资料,在分析研究区地层温度与压力特征,地壳稳定性的基础上,分析得出调查区域内可能具备地下储存地质条件的共 11 个洼陷,分别为:广利港洼陷,民丰洼陷,利津洼陷,牛

庄洼陷,博兴凹陷(潜),孤南洼陷,大王北洼陷,临南洼陷,德州凹陷(潜),莘县凹陷(潜),东明凹陷(潜)。

根据地下储存地质条件要求,并结合研究区构造地质条件,将研究区概化成地质条件概念模型(图 3),储存量估算公式如下:

$$V = S \cdot H \cdot \varphi \cdot \beta$$

式中: V 为储存体积(m^3); S 为储存面积(扩散半径 $R=3.2 \text{ km}$ 的圆面积, m^2); H 为储存厚度(储存层的有效储存厚度, m); φ 为平均孔隙度; β 为体积折算系数,取 0.5。

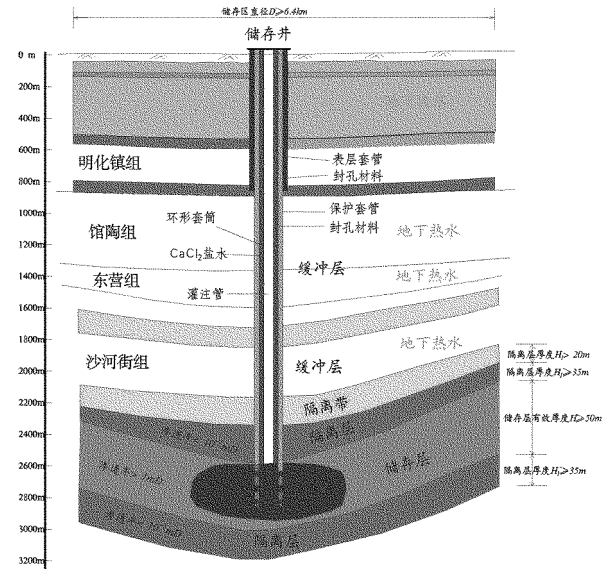


图 3 储存区地质条件概念模型

该次估算中采用以下原则:①以一个相对完整的洼陷或凹陷作为估算的基本单元;②将厚度大于 100 m 的组段(有效储存厚度大于 50 m,视储存量而定)作为一个储存组合。有效储存厚度指的是储存层内能够容纳储存液的砂层厚度,其内所夹渗透率 $< 10 \sim 5 \text{ mD}$ 的泥岩、泥质粉砂岩等除外;③将半径 $\geq 3.2 \text{ km}$ 的相对完整盆地作为洼陷的储存空间,估算面积按半径为 3.2 km 的圆面积考虑,小于 3.2 km 的储存区不予考虑。通过估算,鲁西北地区具备地下储存地质条件的 11 个储存区的总面积约为 3 434 km^2 ,单井储存量约为 $116.80 \times 10^8 \text{ m}^3$,地下储存空间的总体积约为 $1 188.90 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 2)。

4 对区域地质环境影响分析

对地质环境的影响,主要从对地表环境、地下水

资源、矿产资源、地质结构、引发地震的可能性等几个方面进行分析。

表 2 地下储存层估算参数

估算分区			层组	储层厚度 /m	单井储存面积 /km ²	孔隙度/%	体积折算系数	储存空间体积(10 ⁸ m ³)		
编号	构造名称	面积 /km ²						单井分层	单井小计	储存区
I	广利港洼陷	450	沙二上	93.3	32	28	0.5	4.20	20.15	281.34
			沙三上上部	199.7	32	27	0.5	8.67		
			沙三上下部	81.9	32	21.7	0.5	2.86		
			沙三中	146.1	32	18.8	0.5	4.42		
II	利津洼陷	346	沙二段	161	32	28	0.5	7.21	15.00	156.81
			沙三段	131	32	22.5	0.5	4.72		
			沙四段	120	32	9~23.7(16)	0.5	3.07		
III	民丰洼陷	308	沙二段	199	32	14~22(18)	0.5	5.73	13.91	133.89
			沙三段	194	32	14~22(18)P	0.5	5.59		
			沙四段	90	32	14~22(18)	0.5	2.59		
IV	博兴洼陷	413	沙二段	180	32	26	0.5	7.49	7.49	96.64
V	牛庄洼陷	316	沙二段	200	32	15.37	0.5	4.92	12.60	123.91
			沙三上	300	32	5.4~26.5(16)	0.5	7.68		
VI	大王北洼陷	217	沙二段	85	32	15~30(22.5)	0.5	3.06	8.28	56.15
			沙三段	85	32	15~30(22.5)	0.5	3.06		
			沙四段	60	32	15~30(22.5)	0.5	2.16		
VII	孤南洼陷	131	沙二段	150	32	18.1	0.5	3.67	10.52	47.04
			沙三段	280	32	15.3	0.5	6.85		
VIII	临南洼陷	300	沙三段	100	32	5.6~30.9(18)	0.5	2.88	2.88	27.00
IX	德州凹陷	118	沙三段	90	32	5.61~5.66(5.6)	0.5	0.81	7.73	23.27
			沙四段	113	32	5.64~21.36(13.5)	0.5	3.46		
			孔店组	160	32	5.64~21.36(13.5)	0.5	3.46		
X	莘县凹陷	255	沙三段	150	32	15~25(20)	0.5	4.80	8.64	68.85
			沙四段	150	32	12~20(16)	0.5	3.84		
XI	东明凹陷	580	沙二+沙三	300	32	20	0.5	9.60	9.60	174.0
合计		3434	注:孔隙度一栏括号内数字为估算采用的平均值					116.8	116.8	1188.9

(1)对地表环境的影响。要进行地下储存,就必须要在储存区建设地面储存设施,必然会改变当地原有的地形地貌。另外,凡是需要进行地下储存的工业废液都含有毒有害物质,如果储存和运输不当,势必会造成这些物质进入地表土壤,必然影响土壤的质量,从而影响地表植被的生长发育和农作物的质量。如果工业废液在储存和运输过程中规范操作、严格管理,对植被的影响不大。

(2)对地下水资源的影响。工业废液对地表土壤污染后,通过淋滤作用渗入地下,进而污染浅层地下水。另外在地下储存过程中,储存井穿过地下含水层,如果操作不当,使废液发生泄漏,必然对地下水产生污染。因此,储存井应严格按照设计方案施工和建造,严格执行储存操作规程,以减少对地下水资源的影响。

(3)对矿产资源的影响。研究区内可能影响到的矿种主要有石油、天然气、地下热水、地下卤水等。石油、天然气资源在研究区分布广泛,一般埋藏比较

深。在进行储存地质条件勘查时,应尽量选择石油分布空白区或废弃油田附近进行储存勘查研究。鲁西北地区的地下热水资源广泛分布于浅部的馆陶组、东营组,部分沙一段和沙二段地层也有分布,在勘查地下储存地质条件时查明地下热水的分布、埋藏,尽量避免地下热水资源的分布区。地下卤水分布比较局限,而且埋藏深度小于 200 m,对卤水资源的影响较小。

(4)对地质结构的影响。工业废液地下储存势必对储存层及其周围的地层结构、地质构造等产生影响,如果影响过大则反过来影响地下储存的适宜性。储存井是对地下地质构造最直接、最直观的影响因素,另外储存过程中,储存液的压力、温度、成分以及运移速率都对储存层及其周围的地质结构产生着影响。在实施过程中,只要查清地质条件、保证储存井施工质量、严格按规程操作,地下储存对地质结构的影响一般较小。

(5)对地震可能性的影响。地下储存引发地震

主要是由于储存压力超过了地层和断层的抗破裂压力,使得地层破裂、断层发生错动,从而引发地震。在地下储存前,都要对地层岩性、孔隙度、渗透率、地温进行测定,对地层的储存压力、抗破坏能力进行试验测试,以便确定储存时的灌注压力。对于断层,则尽量避开断层发育区,确实不能避开的断层,要通过分析同时期、同性相相邻断层,以及采取地震勘探等手段对断层进行解译,从而确定断层的抗破坏能力。在储存前查明地层、断层抗破坏能力的前提下,储存时控制好灌注压力,正常情况下发生地震的概率较小^[7]。

5 结语

工业废水地下储存技术不同于简单的地下排放,是将废液置于生物圈以外的一种安全的环境处置手段。它是一个系统工程,包括前期的地质、地质构造和水文地质分析,区域断裂和地震活动的考察,数值模拟论证,灌注井的建设要求以及一系列严格

的操作控制。它的兴起为我国工业废水的排放开辟了一条新的路径,大大缓解了地表环境压力。

参考文献:

- [1] 山东省统计局.山东省统计年鉴(2014年)[M].北京:中国统计出版社,2014.
- [2] 王晓华,于景琦,陈宏坤,等.美国工业废液地下灌注与控制技术介绍[J].油气田环境保护,2007,17(3):41-44.
- [3] 孟伟,赫英臣.废物处置场地地质屏障的环境安全评价[J].中国地质,2007,34(1):166-172.
- [4] 宋明春,徐军祥,王沛成,等.山东省大地构造格局和地质构造演化[M].北京:地质出版社,2009.
- [5] 陈宏坤,王晓华,于景琪,等.地下灌注技术有效处理污染物[N/OL].中国环境报,2007-03-13.http://www.cenews.com.cn/historynews/06_07/200712/t20071229_37516.html.
- [6] 徐军祥,赵书泉,康凤新,等.山东省地质环境问题研究[M].北京:地质出版社,2010.
- [7] 山东省地矿局.山东省环境地质文集[M].北京:地质出版社,2007.

Sudy on Underground Storage Geological Conditions of Industrial Waste Water in Shandong Province

——Setting Northwest Area in Shandong Province as an Example

LIU Yongming^{1,2}, CUI Yuanyuan¹, SHAO Zhen^{1,3}

(1. Shandong Geo - engineering Exploration Limited Corporation, Shandong Jinan 250014, China; 2. Shandong Geological Surveying and Mapping Institute, Shandong Jinan 250013, China; 3. Shandong Geological Prospecting Machinery Factory, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: Underground pouring technology has opened up a new path for the discharge of industrial waste water in China, which greatly relieved the pressure of the surface environment. In order to ensure the safety and effectiveness of the underground perfusion, the underground perfusion technique requires a high requirement for geological conditions. In this paper, the regional geological conditions have been analyzed, the conceptual model of underground storage space has been established, and the storage space has been determined established. The effects of regional geological environment have been analyzed as well. It will provide scientific references for underground storage in northwest area of Shandong province

Key words: Industrial waste liquid; underground perfusion; geological conditions; storage space; geological environment; northwest area of Shandong province