

QDN 盆地层序地层及生储盖组合分析

周小鹰¹, 魏魁生²

(1. 中国石化集团新星石油公司北京计算中心, 北京 100083; 2. 中国地质大学能源系, 北京 100083)

摘要: QDN 盆地是一个早期以裂陷为主, 晚期以坳陷为主的拉张性盆地。可分为早期裂陷作用期、晚期裂后坳陷作用期两大演化期和 5 个演化阶段。根据盆地演化史和地层特征, 早期裂陷作用期和晚期裂后坳陷期分别构成了超层序组 TA 和 TB, 在 TA 和 TB 中又可识别出 5 个二级层序和 19 个三级层序, 并建立了年代层序地层格架。在本区的上、下两个生储盖组合中, 下层生储盖组合有多个烃源层, 始新统、崖城组湖相和海陆过渡相及各层序密集段皆为主要烃源岩, 储集层主要由扇三角洲、沙滩、砂坝、前积楔和斜坡扇等组成; 上层生储盖组合的烃源岩主要为梅山组密集段和莺歌海组外浅海-深海泥质沉积, 储集层主要为大陆斜坡部位的三角洲砂体; 它们的区域性盖层为莺歌海组的厚层泥岩和梅山组深水泥质沉积; 加之上下两层生储盖组合烃源岩上覆有巨厚的深水泥质沉积, 因此具有良好的油气前景。

关键词: 盆地演化; 层序地层; 沉积体系; 生储盖组合; QDN 盆地

第一作者简介: 周小鹰, 女, 42 岁, 高级工程师, 石油地质

中图分类号: P539.2 P618.130.2⁺1 **文献标识码:** A

QDN 盆地是一个大型的裂谷型大陆边缘盆地, 它的形成与古亚洲大陆、古印度板块和古欧洲大陆的构造运动有关。盆地最初可能发育于始新世或更早, 沉积了厚层的第三系, 总体上勘探程度较低。

本文拟在前人研究的基础上, 应用层序地层学理论和石油与天然气地质学概念重点研究 QDN 盆地的盆地类型、形成演化和盆地内尚未系统勘探的区域的层序地层、构造样式, 并对生储盖组合的空间分布进行初步分析与评价。

1 盆地演化

QDN 盆地的基底为下古生界变质岩和碳酸盐

岩。在侏罗纪-白垩纪期间受到强烈的改造, 导致中酸性岩浆侵入, 大规模 NE 向断裂活动及边缘上陆壳增生, 在此基础上形成了新生代盆地。

根据大量地震资料分析, QDN 盆地是一个早期以裂陷作用为主、晚期以坳陷作用为主的拉张性盆地。盆地以破裂不整合 T_6^0 反射层为界, 分为上、下两大构造层, 呈现出拉张性盆地的双层结构特征(图 1)。下构造层由早期裂陷作用形成, 上构造层由晚期坳陷作用形成。盆地的大断裂为北缘的 5 号断层, 西缘的 1 号断层和盆内的 2 号、3 号断裂等。这些大断裂控制了盆地的隆凹格局。在早期的裂陷作用期, 断裂沿 NE、NEE 和 NW 向发育。

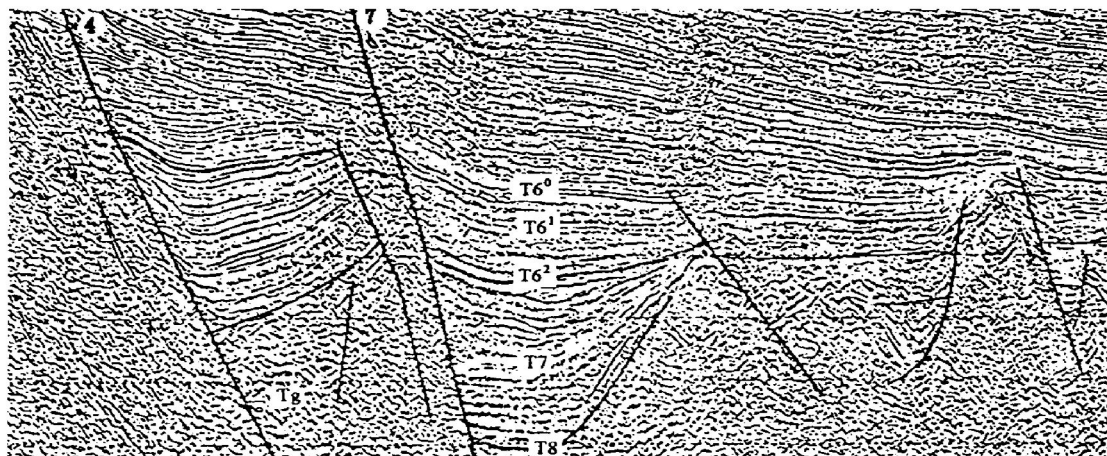


图 1 QDN 盆地中部地震剖面

Fig. 1 Seismic section from central part of QDN Basin

在晚期坳陷作用阶段, 地形向南倾斜与广海连通。

根据演化发育史, 可将盆地的两大演化期细分

为5个演化阶段。第一个演化期即早期裂陷作用期,具有3个演化阶段;第二个演化期即晚期裂后拗陷作用期,具有2个演化阶段(表1)。

表1 QDN 盆地演化阶段与层序地层

Table. 1 Evolution stages and sequence stratigraphy of QDN Basin

期	阶段	组(统)	层序	超层序	超层序组
晚期裂后拗陷作用期	晚期	莺歌海组	15~ 19	TB2	TB
		黄流组	14		
	早期	梅山组	12~ 13	TB1	
		三亚组	9~ 11		
早期裂陷作用期	晚期	陵水组	5~ 8	TA3	TA
	中期	崖城组	3~ 4	TA2	
	初始	始新统	1~ 2	TA1	

1.1 裂陷期

(1) 裂陷初始期始于始新世,基底地层在拉张作用下开始张裂。此时盆地的分隔性强,在盆地的西北部发育了一个向东西和南北向延伸的巨大隆起,对盆地的沉积环境起到了分隔作用,加之其间还分布有多个小隆起,故盆地的连通性差,呈多隆多凹的格架。沉积物以湖沼相为主,多物源的特征突出。盆地的结构呈地堑或半地堑状态。

(2) 裂陷中期开始于渐新世早期,沉积地层为崖城组。该期盆地内仍有多个隆起,但范围已缩小。总体上,沉积环境有多水系、多隆、多凹的特点。早期有非海相(含过渡相)的沉积,晚期可能完全变为海相沉积。盆地结构以箕状为主。

(3) 裂陷晚期开始于渐新世晚期,至中新世早期结束,沉积地层为陵水组。在此期间,沉积环境完全变为海相。早期生长断层十分发育,沉积砂体受生长断层的控制,物源为单向,在生长断层的下降盘常见近源的扇三角洲类沉积;晚期类似于末端陡倾的缓坡,生长断层活动逐渐减弱。

1.2 拗陷期

(1) 拗陷早期开始于下中新世晚期,结束于中新世末。沉积地层为三亚组和梅山组。在该期地层沉积之前,盆地曾发生一次大规模的抬升,盆地内的隆起部位受到强烈剥蚀,盆内其它地区也受到不同程度的剥蚀作用的影响,形成了一个重要的界面—— T_6^0 破裂不整合。之后,盆地发生了整体下沉。与第一演化期完全不同,生长断层基本上停止了活动,物源明显地变为单向,且主要来自西北。盆地的南缘逐渐变得平缓,北缘变为以拗陷作用为主的缓坡或末端陡倾的缓坡。

(2) 拗陷晚期开始于上中新世,持续至第四纪,

沉积地层为黄流组和莺歌海组。在此期间,盆地以拗陷作用为主,构造运动极弱,盆地的结构变为被动大陆边缘型,出现了明显的陆架坡折-陆坡-盆地的形态。此间,沉积物供应速度高,故高频层序发育。

2 沉积层序

根据盆地的演化发育史,盆地的沉积地层可分为两个超层序组,第一演化期形成超层序组TA,第二演化期形成超层序组TB。根据 Van Wagoner 和 Vail 等人对层序的定义^[1],经过测井和地震资料分析,在第三系中识别出5个二级层序、19个三级层序,建立了区域内的年代地层格架,为生储盖组合分析提供了基础性依据。

二级层序边界是地层内的大型区域不整合面。在适当的位置,它们常成为油气运移的通道。在QDN盆地的第一套沉积层是始新统的湖相沉积,最新的地层为正在沉积的海相沉积物。区域不整合面(二级层序边界)将盆地内的地层分为5个段(二级层序)。

2.1 超层序TA1(始新统)

该期地层以河流-湖泊相为主,为单断式或双断式地堑形态,盆地分隔性强,地层局限于各低洼部位。沉积物来源于盆内和周缘的隆起区,地震剖面上多见乱岗状、不连续或较连续中振幅反射,呈现出多物源、近源沉积的特征。在高水位期,各凹陷可能偶有连通,隆凹格局仍非常明显,局部地区出现半深湖相,在研究区的南北两侧为滨浅湖相。根据前人对盆地内其它区域的分析,始新统的半深湖相和滨浅湖相沉积是主要烃源岩^[2],我们推测半深湖相和滨湖沼泽相在本研究区内亦可构成烃源岩。

2.2 超层序TA2(崖城组)

崖城组属于断陷中期的沉积,该沉积期的早期为海陆过渡环境,中、晚期可能完全变为海相环境。该期仍具有多水系、多凸起、多凹陷的特点;沉积体系丰富,以扇三角洲最为发育。在断层附近和斜坡部位可见扇三角洲的羽状前积结构和下超反射,在盆内可见盆底扇的双向下超反射。但因受地震资料分辨率限制,这些沉积体的反射特征不很明显。

崖城组的沉积与始新统不同的是滨海沼泽、滨岸平原和浅海相发育。据前人对钻井资料的分析,崖城组富含陆源碎屑输入物的滨海和海岸平原沉

积物为所在区域的生油岩^[2]。根据我们对某井的层序地层分析,层序3的密集段属于沼泽相,总有机碳含量达到3.06%以上;层序4的密集段总有机碳含量达到0.7%~1.0%以上,因此,我们推测本期最大海进期出现的局限半深海相泥质沉积和海陆交互相(泻湖、滨岸沼泽等)泥质沉积是本区重要的烃源岩。

2.3 超层序TA3(陵水组)

陵水期早时(陵水组三段)的沉积明显地受生长断层的控制。在生长断层的下降盘多发育扇三角洲,地层较厚。随着海平面的上升,沉积范围明显扩大,深水沉积显著增加。沿岸带出现砂滩、砂坝类沉积体系(图2)。下部地层中最典型的沉积体系为前积楔,它们由扇三角洲和三角洲体系组成。2号断裂带南侧的扇三角洲砂体可构成地层构造复合圈闭,成为重要的储层。

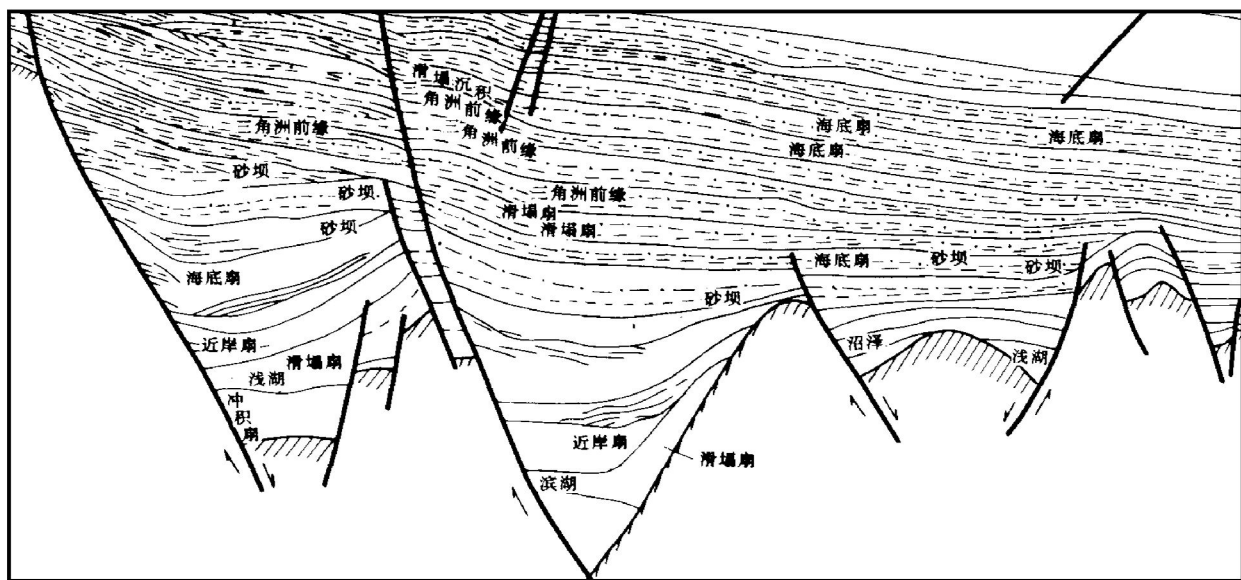


图2 QDN盆地中部沉积体系分析

Fig. 2 Sedimentary systems from central part of QDN Basin

陵水期中时(陵水组二段),断层活动逐渐减弱,沉积体系仍以三角洲和扇三角洲为主。根据古生物资料的分析,在超层序TA3(层序5—层序8)中超微化石整体丰度上升,显示海侵增强。总体上看,陵水期中期属于盆地内的第一次区域性海侵期。因此,在本期地层中除扇三角洲、滩、坝等沉积外,绝大部分地区以深水泥质沉积为主。据钻井资料分析,层序7的陆架暗色泥页岩有机碳含量较高,最高可达1.21%,为较好烃源岩^[2]。本期地层沉积厚度大,分布范围广,是重要的烃源岩形成期。

在陵水期晚时(陵水组一段),生长断层逐渐减弱,沉积地形变得较为平缓,类似于末端陡倾的缓坡。沉积体系除前积楔和扇三角洲外,在深水区还可见到盆底扇、斜坡扇,也可见海底扇及砂滩类沉积。在研究区周缘的两口井中,见到厚层的中砂岩及砂泥互层沉积。因此,本期是重要砂体形成期,砂体以前积楔为特征。TA3的顶界面为盆地的区域性破裂不整合,它的存在既改进了储层的物性又成为油气运移的重要通道。陵水期晚时的砂体可构成差异压实形成的背斜圈闭、半背斜圈闭和披覆

圈闭,成为良好的储层。

2.4 超层序TB1(三亚组和梅山组)

三亚组属于拗陷早期的产物,此时,多凸、多凹的古地理背景已经消失,盆地基本上连通。盆地的性质可能与末端陡倾的缓坡类似。主要沉积体系仍为前积楔和三角洲体系,其次为斜坡扇,它们可构成良好的储层。

三亚晚期水体变深,半深海范围扩大。从钻井岩性剖面看,三亚组下部粒度较粗,多为不等粒砂岩和薄泥岩互层,上部出现较厚层的泥岩。

梅山组沉积于拗陷早期的缓坡。在低水位期,盆地内广泛发育斜坡扇。斜坡扇主要以有堤水道沉积产出,推测它们可构成物性良好的隐蔽圈闭。此外,也发育前积楔、海底扇和三角洲类沉积。

据古生物分析,超层序TB1(层序9—层序13)发育期间,海侵进一步增强。梅山期的早期是盆地内第二次大的海侵期,海侵期广泛发育的深水暗色泥岩,既是良好的生烃层,又是最好的区域盖层。

2.5 超层序TB2(黄流组和莺歌海组)

超层序TB2属于真正的被动大陆边缘盆地环

境,沉积物供应充足,高频层序非常发育。从总体上看,黄流组以深水沉积为主,岩性较细,但仍有有堤水道发育,也可构成良好的隐蔽圈闭。莺歌海期沉积的重要特征是前积楔-斜坡扇、深海扇非常发育,亦为深水环境。地层由大套泥岩夹薄层粉砂岩组成,成为盆地内含油气层的上覆岩层。

3 生储盖组合

研究区内除地震资料外,钻井资料极少,仅有的一口钻井还因位于凹陷部位仅钻至黄流组,因此,层序地层学分析就具有极大的优越性^[3]。

QDN盆地是一个大陆裂谷型盆地,烃类以纵向运移为主。在对三级层序的层序界面追踪及沉积体系分析的过程中,发现若干与烃源岩和储集岩有关的不整合面,如陵水组顶部层序8的上界面—— T_6^0 区域性破裂不整合和崖城组顶部的层序4的顶界面 T_7^0 等。这些不整合面的存在也为烃类侧向运移提供了便利。因此,在生储盖要素分析中,应兼顾考虑区域性不整合面和断层的作用。根据层序地层学分析,梅山期为一次大的海侵期,在此期间发育的范围广阔的深水暗色泥岩成为本区内良好的区域盖层,而本区内的大断层恰恰切入梅山组,据此可以梅山组为界分上、下两层生储盖组合。在下层生储盖组合中(图3),又以区域性不整

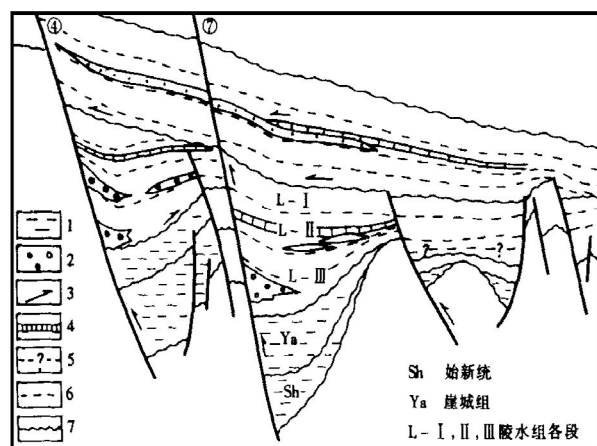


图3 QDN盆地下层生储盖组合示意图

Fig. 3 Sketch map showing source reservoir cap assemblage of lower member in QDN Basin

1—烃源岩;2—储集岩;3—油气运移方向;4—密集段;
5—推测的三级层序边界;6—三级层序边界;7—二级层序边界
合——始新统顶部的 T_8^0 (超层序TA1的顶界面)、崖城组顶部的 T_7^0 (超层序TA2的顶界面)和陵水组顶部的 T_6^0 (超层序TA3的顶界面)等细分为始新统-崖城组、陵水组、三亚组-梅山组3套次级储盖组

合;上层为黄流组-莺歌海组生储盖组合。

3.1 烃源岩

下层生储盖组合的烃源来源于多个烃源岩层,包括始新统湖相沉积、崖城组的海陆过渡相沉积、陵水组二段的密集段和三亚、梅山组的密集段。始新统和崖城组的湖相和海陆过渡相沉积地层为盆地内的主要烃源岩^[2]。在地震剖面上可见到始新统欠补偿的半深湖沉积分布于区域内局部的凹陷中,崖城组半封闭的海相沉积也位于几个凹陷的中心部位。在凹陷周围发育的滨岸平原沼泽相,由暗色泥岩组成,它具有煤系地层的特点。

从岩相和有机质丰度看,三级层序的密集段岩性多为暗色泥岩,有机质丰度高。根据周缘6口探井的分析,发现在密集段处有机碳的含量为相对高值,微体古生物丰度高。密集段发育于最大海侵期,因而分布范围最广,连续性好。例如层序7(陵水组二段)的密集段的有机碳含量最高达到1.21%。陵水组二段是在盆地内第一次区域性海侵期沉积的地层,密集段厚度大,分布范围广,估计生烃潜力应相当可观。三亚组生烃潜力好的密集段分布于外浅海-半深海区。梅山组的密集段是分布范围最广,连续性最好,生烃潜力良好的地层,同时它的岩性细,又是盆地内最好的区域盖层。因此,下层储盖组合的油气来自始新统、崖城组的烃源岩和各层序的密集段。

上层生储盖组合形成于裂后热沉降阶段,烃源岩主要为梅山组的密集段和莺歌海组外浅海-深海的泥质沉积。在这些区域的有机碳含量也较高,可达0.9%~2.1%。黄流-莺歌海组的复合密集段也具有0.65%~1.95%的有机碳含量。梅山组的密集段在区域内普遍较好,黄流组的密集段在三角洲底积层处较好。据此可以判断,它们是上层储盖组合的烃源岩。

3.2 储集层和盖层

在下层生储盖组合中有3套储盖组合。储集层主要由扇三角洲、沙滩、砂坝、前积楔和斜坡扇等沉积体组成。扇三角洲砂体粒度较粗,在靠海一侧的前扇三角洲部位砂层质量变好,它与构造配合可形成良好的圈闭。沙滩和砂坝多沿岸线分布,以不等粒砂岩和泥岩互层,储层物性好,且在空间上的位置可预测。斜坡扇是一种由多个“渠道”与“天然堤”复合而成的复合体,也称为堤成谷相,其中“谷”内可以充填砂,“堤”也可形成多层薄砂。斜坡扇发

育于海平面升降旋回的低水位期。在本区发现的斜坡扇分布范围广,厚度大,孔、渗条件好,应当是最有利的隐蔽圈闭。

上层生储盖组合中的储集层主要是发育于大陆斜坡部位的低水位期浊积砂体和发育于陆架坡折之上的高水位期三角洲类砂体。三角洲沉积主要由河流作用产生,三角洲前缘的砂体品质较好。

上、下两层生储盖组合的区域盖层为莺歌海组的厚层泥岩和梅山组的深水泥质沉积。下层各储盖组合的局部盖层为各组合中上部的密集段。例如陵水组储盖组合,陵水组二段层序7的密集段为该组合的良好盖层。陵水组二段沉积于本区第一次区域性海侵期,主要沉积物为深水泥质沉积。据测井层序地层分析,密集段由深灰色泥岩和黑色页岩组成。在某井的陵水组二段地层以下有油气显示,而陵水组二段以上则没有,表明陵水组三段中有良好的储盖组合。

3.3 上覆岩层

上覆岩层是油气成藏的基本要素之一。QDN盆地是一个早期以裂陷作用为主,晚期以裂后热沉降作用为主的拉张性盆地。在梅山期断层活动基本停止,盆地完全连通。从晚中新世至第四纪盆地

以坳陷作用为主,构造活动极弱。在此期间,盆地内沉积了厚层的深水泥质沉积物。它们位于上、下两层生储盖组合的烃源岩之上,是盆地内潜在油气藏的上覆岩层。在盆地轴线西部的某井显示黄流组以上的地层厚度达到4 700 m。在盆地的最深处,上覆岩层的厚度会更大。本区的地温梯度每百米约3.7~4.0℃。因此,在这样的地质条件下,上层生储盖组合的烃源岩达到热成熟的生烃门限应该不会有问题。

参加本文工作的人员还有武丽、厉大亮、杜振川等。在研究过程中曾得到朱伟林、刘铁树、梁建设等人的鼎力帮助,在此一并表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 威尔格斯 C K. 层序地层学原理(海平面变化综合分析)[M]. 徐怀大,魏魁生,洪卫东,等译. 北京:石油工业出版社,1993. 49~55
- 2 潘贤庄,梁可明,黄保家. 崖北、松涛西凹陷烃源岩研究及生烃潜力评价[J]. 南海石油,1996,13(1): 22~27
- 3 van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies[J]. AAPG Methods in Exploration Series, 1990, 7: 1~55

SEQUENCE STRATIGRAPHY AND SOURCE-RESERVOIR-CAP ROCK ASSEMBLAGE OF QDN BASIN

Zhou Xiaoying¹ Wei Kuisheng²

(1. Beijing Computing Centre of New Star Petroleum Company, Petroleum and Chemical Industry Ltd of China, Beijing;

2. Department of Energy Resources, Geology University of China, Beijing)

Abstract: QDN Basin is an extensional basin which fractured first and then depressed. The basin could be divided into 5 second-order sequences and 19 third-order sequences. The basin's chronostratigraphic framework was built according to basin's evolution history and formation characteristics. Two source-reservoir-cap rock assemblages were discovered in the basin. The lower assemblage consists of several source beds such as lake and transitional facies of the Eocene Series and Yacheng Formation; the reservoirs are mainly fan delta, sand beach, sand bars, foreset wedges and slope fans. The source rocks of the upper assemblage are the dense section of Meishan Formation, the shallow-abysmal argillaceous sediments of Yinggehai Formation; the reservoirs are deltaic sandbodies on continental slope. The regional cap rocks of the both are thick mudstone of the Yinggehai Formation and the abysmal argillaceous sediments of the Meishan Formation. It is considered that the basin possesses favourable hydrocarbon potential.

Key Words: basin evolution; sequence stratigraphy; sedimentary system; source-reservoir-cap assemblage; QDN Basin